1 研究テーマ

(1)研究領域　:地球変動のメカニズム
(2)研究総括　:浅井　冨雄
(3)研究代表者 :才野　敏郎
(4)研究課題名 :衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム
(5)研究期間　:平成11年11月～平成16年10月

2 研究実施の概要

本研究では，海洋現場に設置した自動昇降式ブイに搭載した光学的なセンサー類によって海洋の基礎生産を自動的に計測し，実時間的にデータ転送を行うことによって，人工衛星水色データから推定した基礎生産を実時間で検証するための計測システムを開発することを目標として、そのための水中設置自動昇降ブイシステムの開発、および各種光学的データから基礎生産を推定するためのアルゴリズムの開発を実施した。また、3 年度目より、主センサーである高速フラッシュ励起蛍光光度計の開発をおこなった。英語プロジェクト名は Project on Ocean Productivity Profiling System (POPPS)とした。

水中設置自動昇降ブイシステムの開発については、日油技研工業(株)に委託し、まず光学センサーを搭載した計測ブイとそれを自動的に昇降させるための音響通信制御機能を持った水中ウインチシステムから成る試作 1 号機を作成し、それを用いて各種水槽試験、実海域試験を行った。さらにその結果に基づいて、水中音響通信と空中電波通信機能を付加した実機 1 号機を完成した。さらに実運用をめざして、試作1 号機を改造し実機2 号機とした。これらを試験運用することにより、実運用のためのノウハウを蓄積するとともに、伝送された実時間データを自動処理するためのウエッブベースのデータシステムを構築した。

高速フラッシュ励起蛍光光度計(FRRF)の開発に関しては、紀本電子工業(株)を研究チームに加えて実施した。まず、性能試験・評価用の卓上型機を開発し、その成果に基づいてブイ搭載のための水中現場型機を製作した。その後、開発のノウハウを集積して改良を加えた卓上型機を製作した。市販の機械がブラックボックス状態であったのに対し、本研究により小型CPUボード、計測ソフトウエア、データ処理ソフトウエア等々すべて自作することによりブラックボックス状態を解消することができた。また、励起光源の光強度の校正手法も開発し、モニタリング機器として必須の校正作業も自前で行えるようになった。

光学測定による基礎生産の推定に関しては、FRRFによる単位クロロフィルa当たりの総基礎生産の測定、FRRFによるクロロフィルa鉛直分布の測定、気象衛星ひまわりからのブイ設置点の海面日射量の連続推定、の3者を組み合わせることによって日・深度積算総基礎生産を求め、それをブイ設置点における酸素法・^{13}C 法による培養実験結果と合わせることによって、現場海域における衛星データの検証値を求める方法を開発した。この方法による推定精度を向上させ、さらに得られた値の妥当性を評価するために、新たに開発された海水中の酸素ガスの酸素17同位体比異常から総基礎生産を求める手法を採用し、他の手法から得られる推定値と比較し、検討を加えた。その結果、水中自動昇降ブイシステムに搭載されたFRRFによって測定された基礎生産が、酸素17同位体比異常法によって推定された総基礎生産とよい一致を示したことから、FRRFを二時間おきに繰り返して測定された一日水柱積算総基礎生産を海域現場における真値と考えることとした。蓄積された海洋現場での実測結果に基づいて、自動昇降ブイシステムによって得られる一日1～2回のFRRF計測データから日・深度積算総基礎生産を求めるためのアルゴリズムを開発した。

開発した計測システムを衛星データの利用に役立てるために、データシステムの開発と衛星データからブイ設置点近傍の海洋の基礎生産を推定するための局地アルゴリズムの検討を行った。

以上の各要素の開発・研究を総合化することにより、自動昇降式ブイシステムを用いた、実時間海洋基礎生産計測システムのハードウエアとソフトウエア、および計測システムの運用に必要なデータシステムの基本型を確立した。

3 研究構想

3.1 当初の目標

地球規模の気候変化，環境変化において海洋における熱・エネルギー循環と物質循環の変化が大きな役割を果たすと考えられているが、その実態を解明するためには適切な時間・空間スケールでの観測・研究が不可欠である。海洋観測・研究においては今まで見過ごされてきたイベント的現象を全球的・長時間スケールでの長期変動の文脈で理解することが緊急に求められており，今までの船舶観測に加えて，人工衛星観測と定点観測を組み合わせた時系列の観測が必要であることがますます強調されるようになっている。特に，大気中の二酸化炭素濃度に大きな影響を及ぼすと考えられている海洋の物質循環に関しては，物質の鉛直輸送を担う生物ポンプの活動の地理的分布とその系時的変化を明らかにすることが中心的な課題となっているが，人工衛星海色リモートセンシングによる植物プランクトンの量と基礎生産の測定は、それを可能にする唯一の現実的な観測手法として大きな期待が寄せられている。

1996年からの OCTS の運用によって定常的な海色リモートセンシングが開始されて以来，各種の海色センサーによる定常的な観測が将来にわたって継続される予定である。海色リモートセンシングで求められる植物プランクトン量と基礎生産は実測データで検証して初めて物質循環の研究のために使うことができるものであるが，基礎生産に関しては船舶による現場実験によって測定される検証データが決定的に不足しているのが現状であり，新たな検証法が緊急に求められている。特に，わが国においては放射性同位元素（^{14}C）の使用に厳しい法的規制があるために野外データの取得は測定に時間がかかり，かつ感度の低い安定同位元素（^{13}C）を用いる方法に頼らざるを得ないので，世界的な空白域とも言われていた。

海洋光学の分野における最近の測器の開発は目覚しいものがあり，植物プランクトンによる光合成(基礎生産)が実時間で、光学的に，非破壊的に測定できるようになった。本研究ではそれらの光学的測器を，海洋亜表層に設置した自動昇降式表面ブイシステムに取り付けて海洋現場における系時的な基礎生産の測定を行い，さらに得られたデータを実時間で転送するシステムも開発して，得られた実時間の基礎生産の値を衛星データの検証に用い，検証済みの海洋基礎生産データを物質循環研究のために利用できるようにすることを目指している。

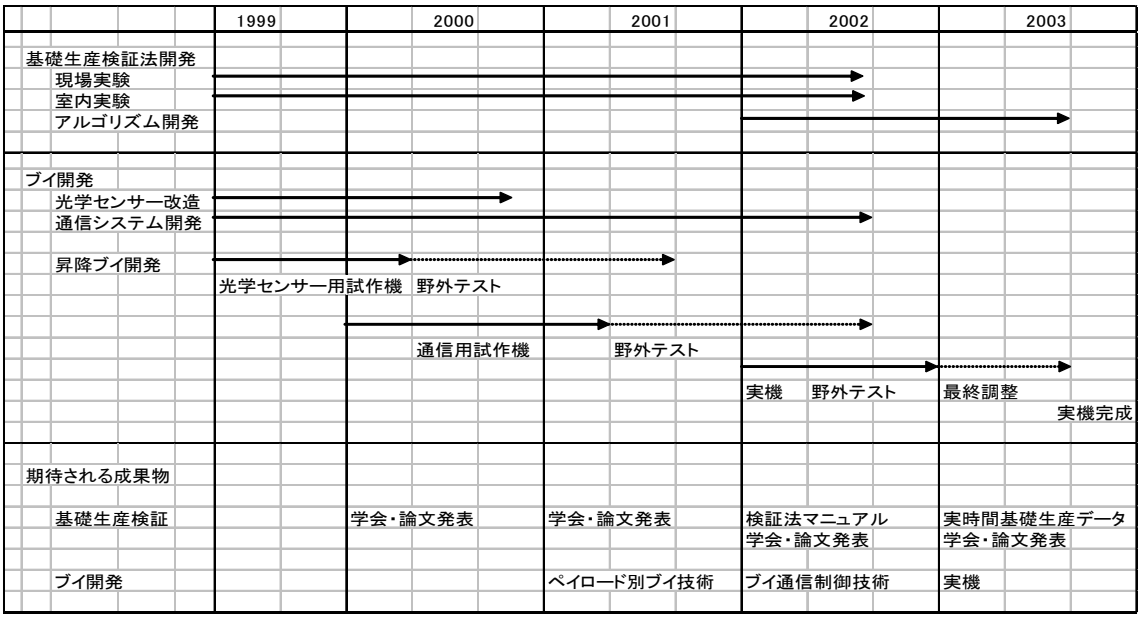
3.2 研究計画

以上の目的を達成するために、研究内容を海洋現場における計測システムの開発と、現場における光学測定データから基礎生産検証データを取得するためのアルゴリズムの開発、の二つに分けて、それぞれを並行して実施することとした。研究提案書に記した当初計画概要を表 3.1 に示す。

当初計画で最大の問題と考えていたのは、光学的な測定によって得られるのが、植物プランクトンが光合成によって作り出すすべての有機物に相当する総基礎生産であるのに対し、検証すべき衛星基礎生産データはすべて、^{14}C(あるいは ^{13}C)による培養実験によって得られたものであり、これは植物プランクトンが光合成によって作り出した有機物から自分自身が呼吸によって消費した有機物を差し引いた、いわゆる純基礎生産に近い量を測定していると考えられているため、それら二つをどのように対応づけるかということであった。この問題は ^{14}C 培養法が採用された50年前から常に問題とされながら放置されてきた古くて新しい問題である。これは本研究における「パンドラの箱」であって、本研究の中でこれをどのように取り扱うかということが常に頭を悩ます大問題であった。

これに助けを与えたのが酸素17同位体比異常による総基礎生産の推定である。これは本研究開始直前にNature誌に発表されたものであり、翌年春に著者から直接内容を聞く機会を得て、これの採用の検討を開始した。この方法によると、培養実験によらず、定義どおりの総基礎生産が推定できるので、FRRF法と培養法を比較するための客観的な第三者の視点を得ることができる。

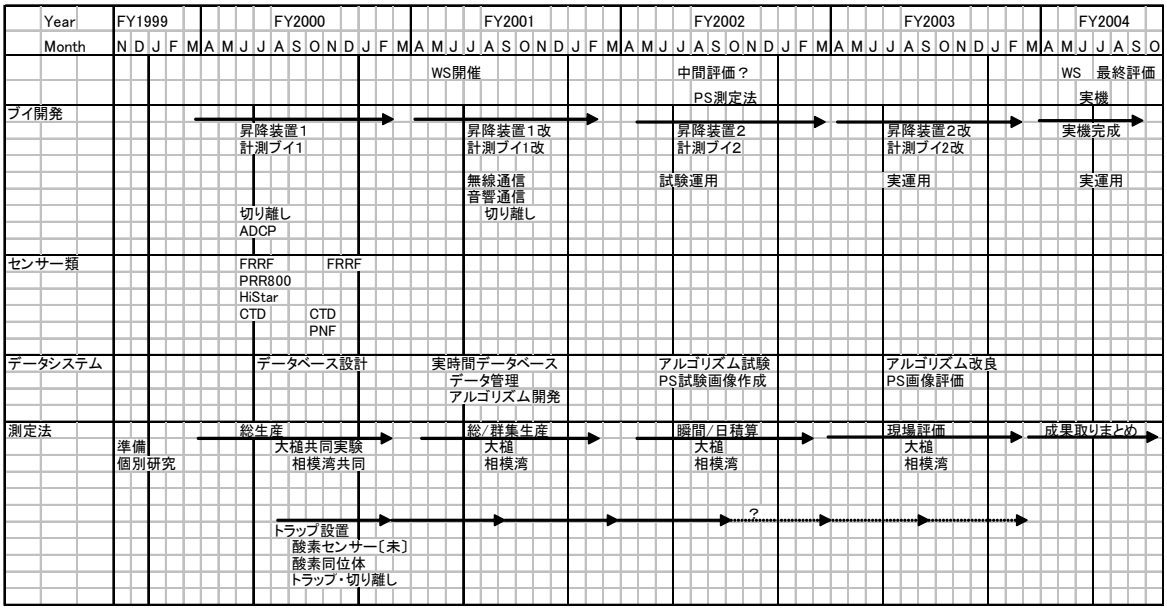
表 3.1 研究提案書（1999年5月）に記した当初年次計画



また、当初採用した英国Chelsea社のFRRFがブラックボックス状態であり、そのハードウエア、光源校正、計測アルゴリズム、データ処理アルゴリズムのすべてを同社に頼っていたので、自立的なモニタリングシステムを構築するためにはぜひこれを解消する必要があった。

第3年度から、これらの二つの研究項目を追加し新しい研究計画を作成した（表3．2）

表3.2 第3年度からの修正年次計画



2002年12月の中間評価において、領域アドバイザーから「衛星利用」の視点が不十分との指摘を受けた。当初計画においては”衛星画像処理に関しては宇宙機関に譲る”としていたものの、実利用のシステムを構築するためには、やはり実時間データを衛星基礎生産アルゴリズム開発に利用できる体制を整えておく必要があるために、この点に関する開発・検討も行うこととした。最終目標を自動昇降ブイシステムと主センサーFRRFの開発、光学的計測による基礎生産計測手法の開発および、酸素17同位体比異常法による基礎生産の検証法の開発に加えて、計測システムの運用およびデータ利用システムの開発も含むこととした。

3.3 最終目標

図3．3にそれらの開発目標の連関を示す。本研究の最終的な開発目標は点線内に示した「衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム」を開発することである。これによって、宇宙機関が検証済みの海洋基礎生産に関する準実時間データおよび、統合的な時系列データを提供することが可能になる。衛星データを利用したプロセス研究は物理的現象に関しては珍しくないが，基礎生産に関する限り，今まで十分な検証データが存在しなかったため，短期的な変動を追跡した研究はほとんど存在しない．将来的に長期変動を解析するためには短期的な変動に対する解析的なプロセス研究が不可欠であり，本研究によってそれが可能になることの意味は極めて大きい。このような研究を可能にすることにより、気候変動予測モデルの向上に寄与することが本研究の目標である。

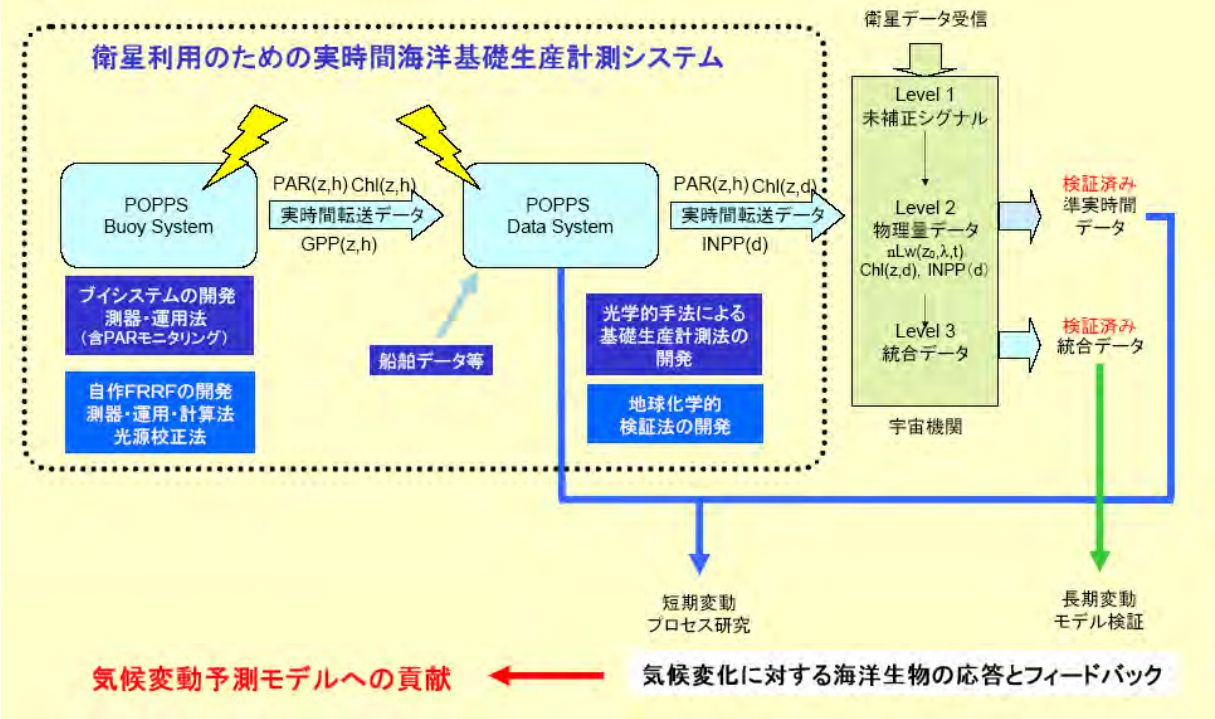


図3.3 本研究の達成目標と社会的な意義

3.4 研究分担体制

改訂された年次計画に対応する研究グループの分担体制を図3.4に示す。

自動昇降ブイシステムの開発は日油技研工業(株)と、名大才野、海洋大石丸の協同で実施した。主な開発項目は、水中ウインチ、計測ブイ、音響通信、携帯電話通信、係留、実運用、のための諸技術開発などで、水槽試験、実海域試験を繰り返すことによって実施した。

FRRFの開発は紀本電子工業(株)を研究グループに加えて実施した。主な開発項目は水中現場型および卓上型FRRFの開発であり、必要なCPU基板、計測ソフトウエア、データ処理ソフトウエアに加えて、光源強度の校正手法等関連技術の開発も実施した。本グループには、もともとのFRRFの開発者である米国Rutgers大学のFalkowski教授のグループと、光学計測の専門家である東海大学千賀教授をアドバイザーとしてチームメンバーに加えた。

基礎生産の計測・検証手法の開発は名古屋大学、東京大学、および東京海洋大学が協力して実施した。FRRFによる瞬時の基礎生産とその検証、光学測定によるクロロフィルa鉛直分布の推定、ブイ設置現場の光合成有光放射の連続推定、瞬時の総基礎生産から一日積算総基礎生産の推定、総基礎生産と純基礎生産の関係、酸素17同位体比異常法による検証など、図中の青色の項目は名古屋大学において実施した。東京大学では自然蛍光法による総基礎生産の連続測定とその検証を実施した。東京海洋大学では、練習船青鷹丸による相模湾･東京湾の定期観測を実施し

ており、一般海洋観測による実運用海域の物理・生物環境の季節変動を調べた。この3つのグループは、青鷹丸のほか、東京大学海洋研究所、大槌臨海研究センターおよび淡青丸において協同観測研究を実施した。また、大気ー海洋間のガス交換速度の測定のために海洋表層混合層中の酸素、窒素ガス分圧の計測と酸素17同位体比異常法に着手するに当たって、米国ワシントン大学のEmerson教授をアドバイザーとして研究チームメンバーに加えた。

長崎大学においては、相模湾に適用するための、衛星による基礎生産推定アルゴリズムの開発を実施した。用いた基礎生産データは主として東京海洋大の青鷹丸によって取得されたものである。東京海洋大ではクロロフィルa推定のための水中光学アルゴリズムの開発の一環として、有色溶存有機物質濃度推定のためのアルゴリズムの開発も行った。

図3.4には記載されていないが、最終年度の実運用試験の実施に伴って、実時間データ処理を含むウエッブ上のデータシステムを名古屋大学において構築した。

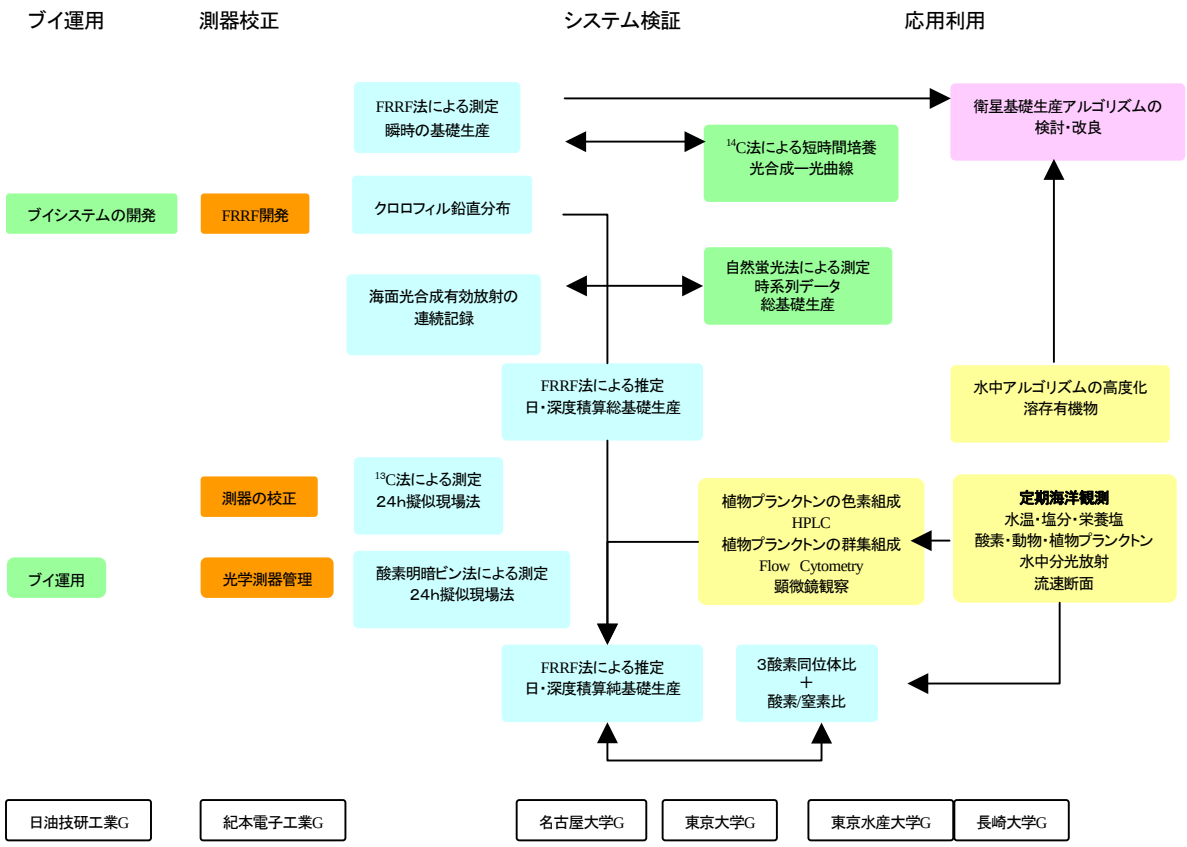


図 3.4 研究実施体制

4 研究成果

4.1 水中自動昇降式ブイシステムの開発

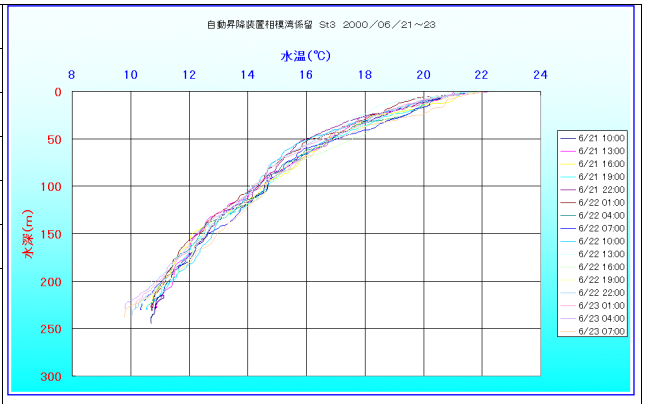
4.1.1 システム開発の目標

前述したように本研究では、人工衛星水色データから推定した基礎生産を実時間で検証するため、海洋現場で直接計測したデータを実時間で提供するシステムが必要である。その為、我々は光学測器の要求仕様を満たし、また、データ取得時に研究室へ送信するプラットフォーム(自動昇降式ブイシステム)の開発・製作を、後述する基礎生産量推定センサーの開発や衛星データからの基礎生産を求めるアルゴリズムの開発作業に先行または併行しておこなった。

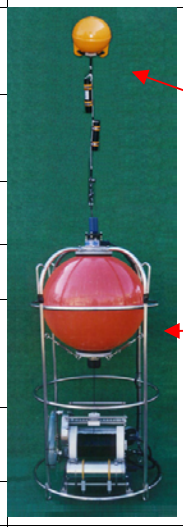
自動昇降式ブイシステム開発に当たっては、研究採択当時、既に東京湾など沿岸域で実績のあった日油技研工業(株)社製水中自動昇降装置(AES-1)を参考とし、本研究目的を遂行する上で、必須の技術項目について改良を加えた。参考資料とした水中自動昇降装置(AES-1)の仕様・性能を表 4.1.1 に示す。

表 4.1.1 水中自動昇降装置(AES-1)カタログ仕様と実績例

最大仕様水深	300m
最大使用期間	1年
空中重量	113kg
水中重量	−25kg
寸法	φ 800× H1,579 (mm)
材質	SUS304、POM
昇降距離	最長 300m／片道 (合計距離:10,000m)
繰り出し速度 巻き取り速度	繰出:6.5m/分 巻取:4.5m/分
使用ロープ	φ2.3mm ｹﾌﾞﾗｰﾛｰﾌﾟ×350m (破断荷重:159kg)
昇降用浮力	2〜4 kgf
電源	DC 13.2V(90Ah)
制御方式	設定ｽｹｼﾞｭｰﾙによる自動制御 超音波信号による手動制御
ｽｹｼﾞｭｰﾙ設定方法	RS-232C を介した PC 入力
動作環境	0〜+30℃



東京湾口における運用実績例



左写真:水中自動昇降装置運用例

計測ブイ
(水温計:NWT-SN
水深計:NWD-500)

水中自動昇降装置
(AES-1)

(資料提供:日油技研工業株式会社)

机上検討した結果、研究目的を達成するために必要な、計測ブイに搭載するセンサーとして Biospherical Inst.社製分光放射計 PRR800、Chelsea Inst.社製高速フラッシュ励起蛍光光度計 FRRF 及び FSI 社製 MCTD とした。それらを搭載するための計測ブイをデザインした結果を図 4.1.2.に、また、本研究で新規に解決すべき(解決した)項目を表 4.1.3.に示す。

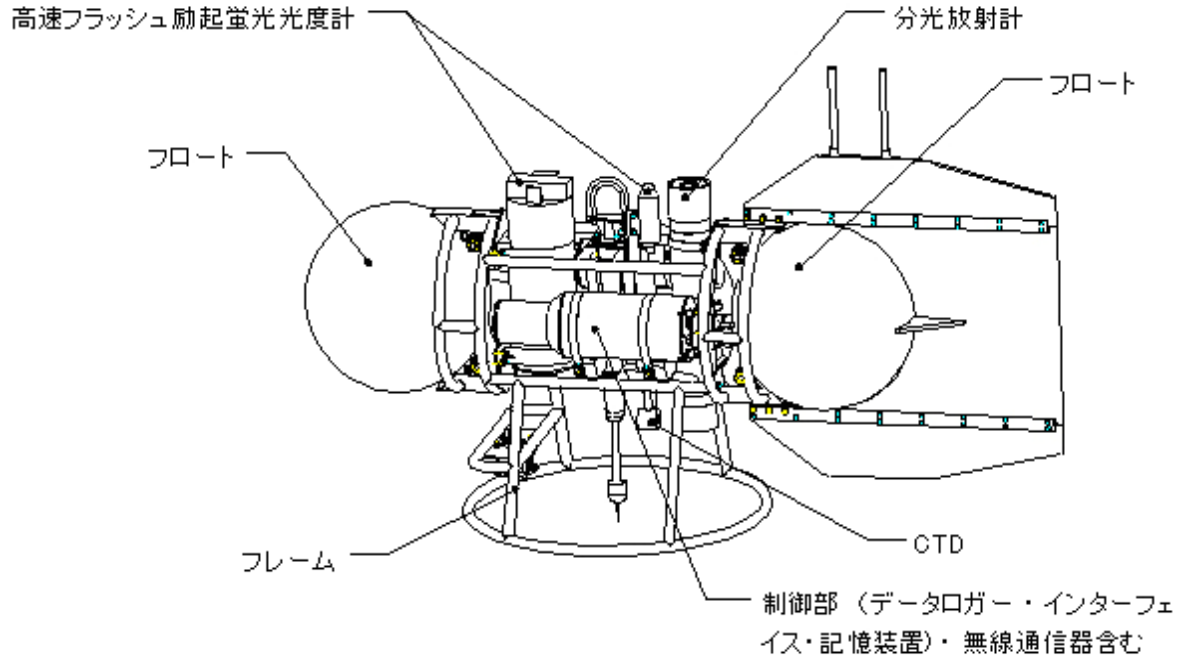


図 4.1.2. POPPS CREST 計測ブイ 構造図(2001 年入札資料から)

表 4.1.3 POPPS CREST 計測ブイ運用に伴う新規技術課題と対処策

No.	新規(2000 年当時)技術課題	プロジェクト終了時に採用した対処策
1	計測ブイ大型化に伴うウインチ性能強化 1.1. 設置時流体抵抗力によって生じる過剰張力 1.2. 計測ブイ稼働時のウインチトルク 1.3. 計測ブイ非稼働時の計測ブイ定点保持機能 1.4. ウインチ能力向上に伴う消費電力量	 1.1. ラッチ機構搭載 →切離装置(設置治具)の搭載 1.2. 搭載モーターの強化・構成部品強化 1.3. ラッチ機構搭載→改良型ラッチ搭載 1.4. バッテリー増設・増設機能付加
2	光学測器搭載に伴う計測ブイ性能強化 2.1. 許容動揺内姿勢保持	2.1. フィン・カウリング採用 →フィンのみ採用
3	データ伝送機能の付加 3.1. 計測ブイと水中自動昇降装置間の伝送 3.2. 水中自動昇降装置と支援船間の伝送 3.3. 計測ブイと研究室 PC 間の伝送	 3.1. 超音波通信信号の多様化 3.2. 超音波通信強化 ・波長帯選択機能付加 3.3. 汎用電話網を利用した伝送機能付加
4	緊急対策機能付加(利用者が遠隔対応できること)	電子 mail を利用したｽｹｼﾞｭｰﾙ変更機能付加 GPS 位置通報装置機能付加

表 4.1.3.に挙げた諸対策を実施した結果、本プロジェクト期間中に、相模湾で運用した自動昇降式ブイシステムで、当初目的とした機能を達成したことが確認され、特に海表面直下では今までの観測では得られなかった高品質のデータを取得することができた。以下、開発したシステムの概略について報告する。

図 4.1.4 は、実機運用時の基本構成と動作内容を示す概念図である。開発した自動昇降式ブイシステムは、図 4.1.4.に示す様に海洋中層に位置する水中自動昇降装置(Under-water Winch)と計測ブイ(Ocean Profiling Buoy)から成っている。

このシステムは所定の時間になると計測ブイと水中自動昇降装置との間で超音波を用いて情報交換

を行う。水中自動昇降装置は計測ブイから信号を受けてロープを繰り出し、計測ブイは水中自動昇降装置から信号を受けて各深度の水質・水理データを取得する。また、計測ブイは昇降時に搭載しているCTD センサーの深度情報を監視し、10m 毎にその位置を水中自動昇降装置に伝える。計測ブイが水面まで浮上すると、相互で状況を確認する。そして、水中自動昇降装置はロープの繰り出しを停止し、計測ブイは上昇時に取得したデータの主要項目のみを抽出・圧縮して、電子メイル形式で決められた宛先に送信する。取得データの送信・利用者からの緊急指令メイル有無の確認を終了後、相互で状況を確認し、水中自動昇降装置はロープを巻き込み、計測ブイを所定の位置まで引き込む。そして、次の所定時間までその状態で待機する。

この一連の動作で送受信している超音波信号は、周辺船舶にシステムの存在を知らせるだけなく、その超音波信号を支援船（研究船舶や SCOOP）で送受信することにより、システムの稼働状況を判別し、また、運用指令を送信することによって強制的に操作することも可能である。

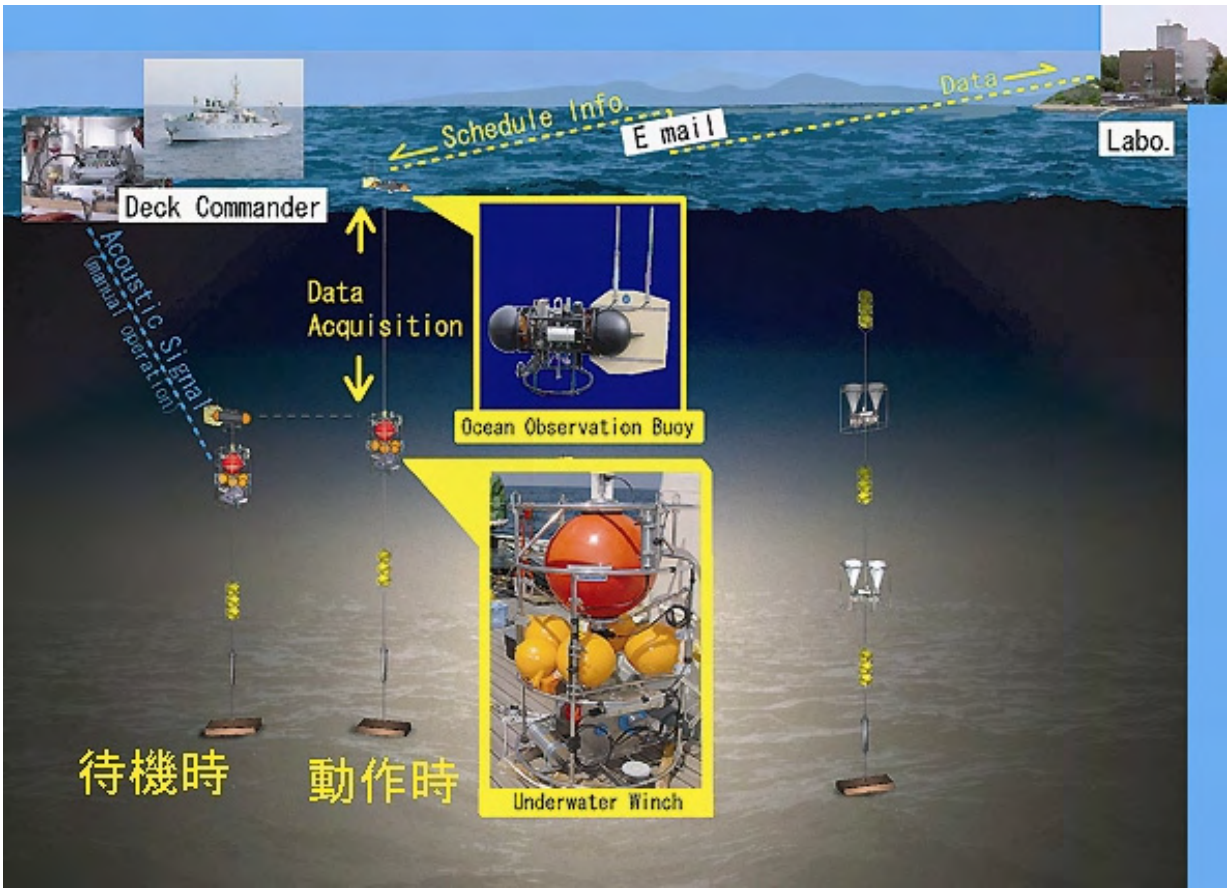


図 4.1.4.自動昇降式ブイシステム運用構成概念図

システムには上記基本動作に必要な機材以外に、計測ブイが海面に漂流するような不測事態を想定し、GPS位置通知システム(～2003 年まではオーブコム衛星経由、2004 年からはイリジウム衛星経由)を搭載し、システムの保全に努めている。

最終的に完成したシステムについて図 4.1.5.にその写真を、仕様を表 4.1.6.に示す。以下次節において図 4.1.5.、表 4.1.6.に示す最終形に至った開発経過の経緯および技術データについて述べる。

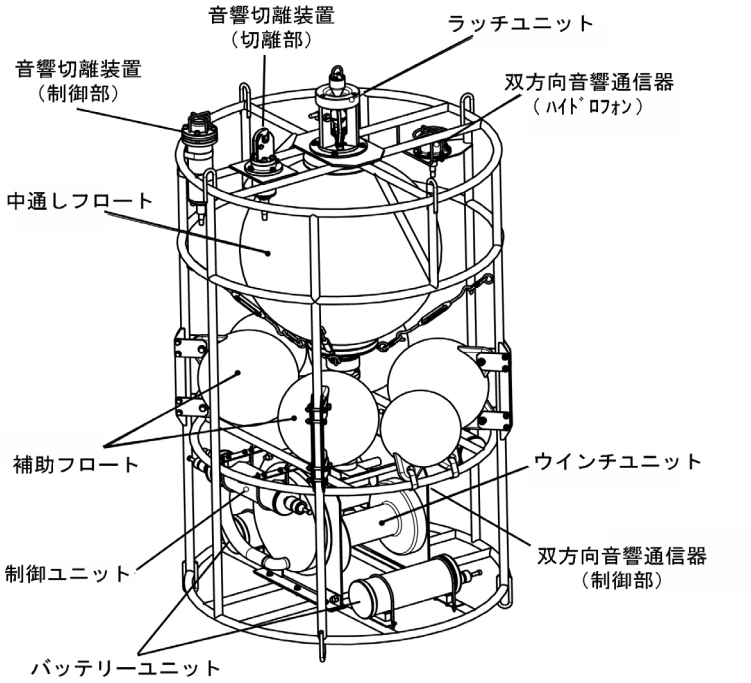
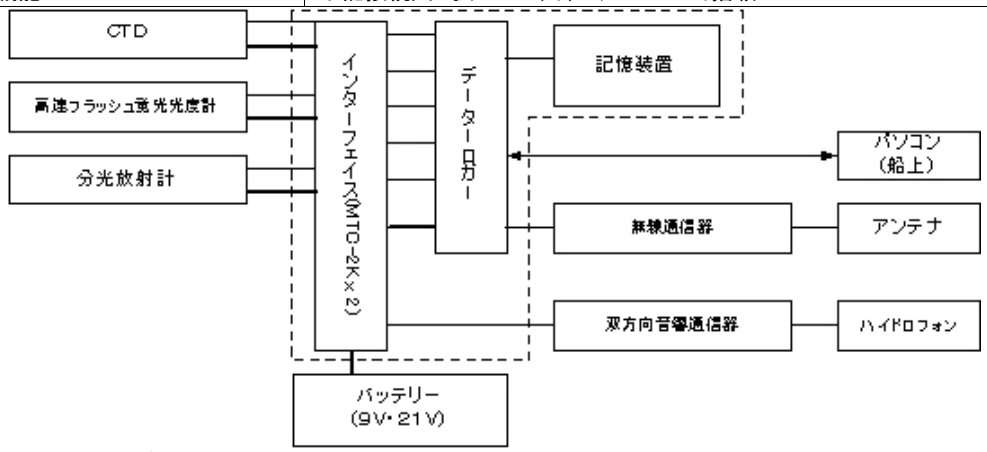


図 4.1.5.自動昇降式ブイシステム(2004 年度)
上左:水中自動昇降装置　上右:計測ブイ　下:水中自動昇降装置各部の名称

表 4.1.6 自動昇降式ブイシステム構成機材毎の仕様・ブロック図

1)計測ブイ

最大使用水深	300m （耐圧強度 4.9MPa gauge）
最大係留期間	1年
質量	135 kg(ｲﾘｼﾞｳﾑ GPS ﾌﾞｲ 含む)
水中重量	常に－8kg に調整
外形寸法	幅 1,875mm, 高 905mm
材質	SUS, POM, PVC （センサー除く） Ti (Chelsea, FRRF), Al(紀本電子(株)FRRF) SUS(CTD), POM(PRR800) 等
電源	リチウム電池パック データロガー,CTD,PRR800 用 DC15.6V 30Ah FRRF 用 DC31.2V 30Ah
記憶装置・ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ・ｲﾝﾀｰﾌｪｲｽ	PC／AT 互換機 PC-104 RS-232C 合計 5 チャンネル常時使用 1G ﾊﾞｲﾄ 2.5inch ﾏｲｸﾛﾊｰﾄﾞﾃﾞｨｽｸﾄﾞﾗｲﾌﾞ
制御方式	タイマー起動自動制御／双方向音響通信器による遠隔操作(自動昇降装置からの指令)
設定方式	PC, RS-232C 通信によって情報入出力
音響通信機能	送受信周波数:19.692 と 20.480kHz 2周波変調による双方向通信
海上通信機能(データ伝送用)	9600 bps, PDC800MHz ｼﾝｸﾞﾙﾊﾟｹｯﾄ方式 e-mail で通信。送信ﾃﾞｰﾀ希望容量 5kByte
緊急通信機能	下記接続図と独立して、ｲﾘｼﾞｳﾑ GPS ﾌﾞｲ搭載

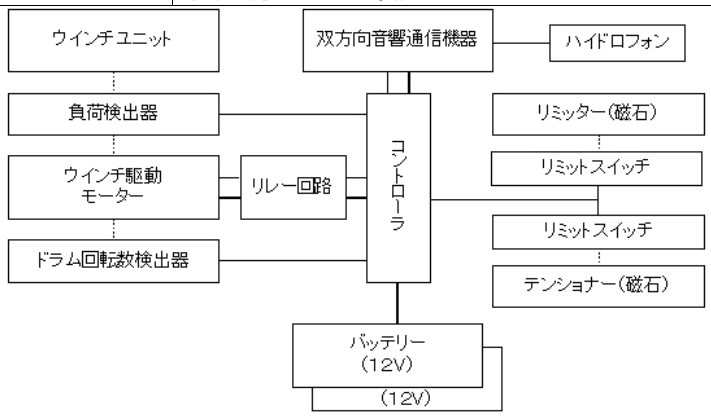


計測ブイの機器接続図(バッテリーは Chelsea 社製 FRRF を想定、作成月 2002/01)

2)水中自動昇降装置

最大使用水深	300m （耐圧強度 4.9MPa guage）
最大係留期間	1年
質量	195 kg
水中重量	－40kg
外形寸法	φ1,000mm × 高 1,800mm
材質	SUS, PVC
電源	リチウム電池パック(DC 15.6V, 90Ah)×2並列(複数並列接続機能可能)
ウインチ機能	巻取ロープ: φ3.8mm ｹﾌﾞﾗｰﾛｰﾌﾟ×350m 破断強度: 635kgf

	最大巻き取りトルク： 100kgf 繰出速度： 約 8m/min、巻取速度： 約 5m/min
制御方式	双方向音響通信器による遠隔操作 （計測ブイからのタイマー信号、支援船からの強制信号指令）
設定方式	各モニターの設定は PC, RS232C で一括設定
音響通信機能	送受信周波数：19.692 と 20.480kHz ／ 28.5 と 30.7kHz 海況等により確率の高い方で選択
昇降回数	実績値 72 回
搭載支援機材	設置時使用の切離装置



水中自動昇降装置の機器接続図（作成月 2002/01）

3)システム全般

最大昇降深度	300m（通常：相模湾観測点では 150m）
1回あたりの取得ﾃﾞｰﾀ量	CTD 71 + PRR 272 + FRRF 3,242 ＝ 3,585Byte/m 相模湾観測では 3,585 × 150m ＝ 537KByte/回 （2002/03 算出ﾃﾞｰﾀより）
1回あたりの送信ﾃﾞｰﾀ量	537KByte→抽出後 67KByte／回→圧縮後 8KByte（送信ﾃﾞｰﾀ）
送信ﾃﾞｰﾀ同時配信数	メイルアドレス数で 20 件
その他	生データは全てハードディスクに記録、回収時にデータ取得可能

4.1.2 水中ウインチの開発

本章では表 4.1.3.に列挙した技術的克服項目について、個々の開発経緯と履歴について述べる。

4.1.2.1 ペイロードの検討

計測ブイを大型化することによって、海流などによって生じる流体抵抗力が増加し、システムの安定な昇降動作に悪影響を与えることが懸念された。本研究採択当時に既に実績が上がっていた計測ブイはφ300mm の球体であり、図 4.1.2.に示す計測ブイのおおよその形状は全長 1,800mm φ450mm の葉巻型の形状となっている。ここから見積もられる水平方向の抵抗力、鉛直上下降の抵抗力は式（1）で見積ることができる。算出した概算抵抗力を図 4.1.7 に示す。

抵抗[kgf]：$R=(C_D \rho SU^2)/2$ 式（1）

C_D ：抵抗係数、球体 $C_D=0.34$、円柱→寸法割合から 0.58

ρ ：流体（海水）の密度≒103.0[kgfS^2/m^4]、

S ：流れに垂直な面への物体投影面積[m^2]

U ：相対速度[m/s]

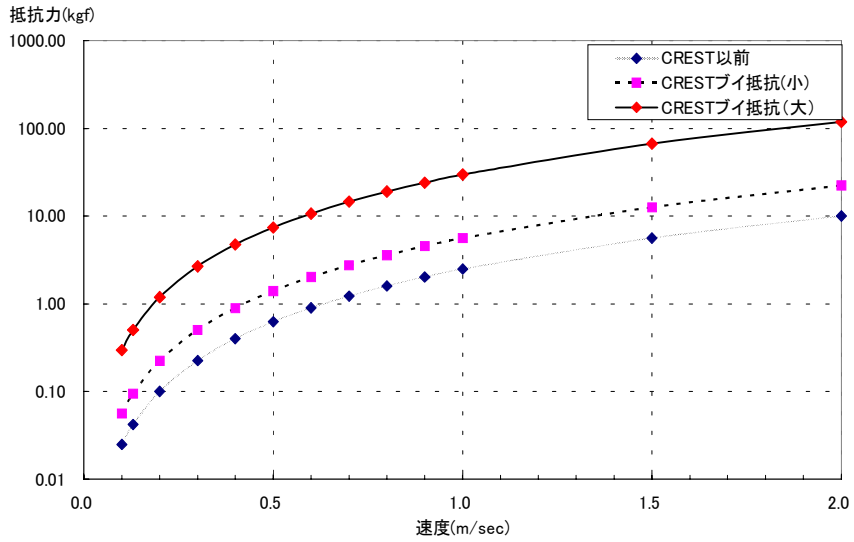


図 4.1.7.形状・大きさによって生じる抵抗力の差違

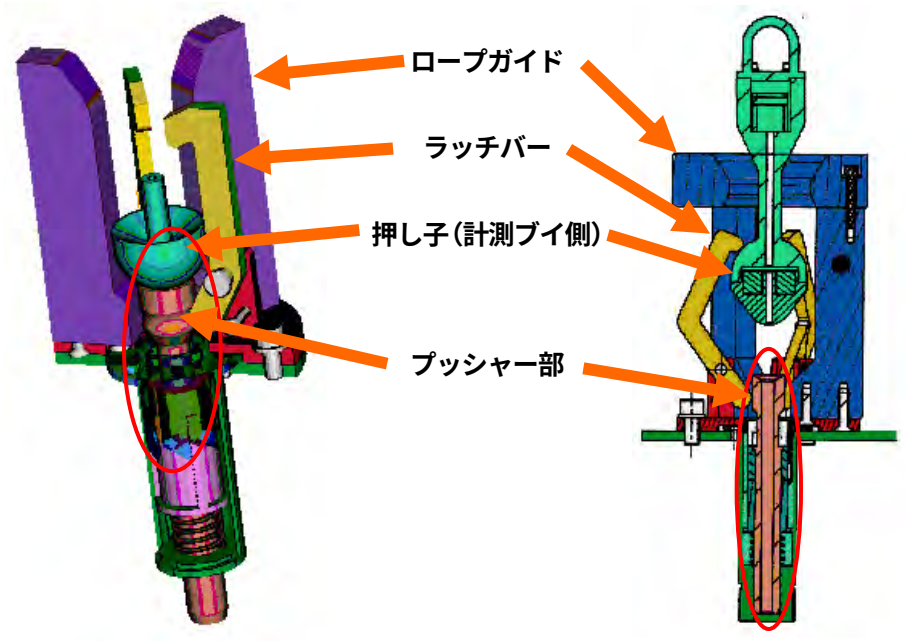
従来と同じ環境条件の場合、計測ブイに掛かる抵抗力は最小で2倍、最大で 10 倍強となることが判明した。この計測ブイに掛かる抵抗力、並びに繰り出すケブラーロープに掛かる抵抗力を評価した結果、流速が 2knot 以下の条件で 200m の水柱を水面まで安定して昇降させるには、計測ブイの浮力は最低でも8kgf 必要であることがわかった。また、従来の水中自動昇降装置では、増加した浮力と計測ブイの流体抵抗を受けた状態で、計測ブイを待機状態時に所定の位置に保持しておくだけのブレーキ性能を保有していなかった。そこで我々は、開発当初、水中自動昇降装置のウインチトルクを向上させると共に、計測待機時に所定の位置を保持するためのラッチ機構の開発をおこなった。また、計測ブイも、光学機器を搭載した葉巻型になることから、動揺に強くしかも流体抵抗を受けにくい形状にすることが必要であった。

4.1.2.2 耐久性ラッチ機構の改良

ラッチ機構とは、計測ブイを所定の位置でロックし、システム待機中に不用意に漂わないようにする機構のことである。開発初期型、並びに現在の改良型の機構図を図 4.1.8.に示す。

ラッチ機構の開発・評価に関連した試験を表 4.1.9.に示す。表に示す一体型ラッチとは 2001 年当時のラッチ機構で、これは計測ブイと水中自動昇降装置との間を緩衝材(ロープ等)無しに接合するものである。また、分離型ラッチとは現在の改良型ラッチ機構であり、これは計測ブイと水中自動昇降装置との間に緩衝材として 10m 程度の太めのロープをつないだものである。当初検討されていた一体型ラッチ機構から、設置・運用・回収時に受ける力学的な影響、計測ブイ押し子の挿入角、耐久性能並びに設置・回収時の船上作業の危険度合いを検討した結果、公式の水槽試験4回・現場試験2回を経て、2002 年 03 月、最終的に分離型ラッチ機構の採用を決定した。

その後、若干の補強を実施したが、設置時に受ける張力が想定している張力をはるかに超えていることが判明した。ラッチ機構の耐久負荷は、設置後の平常の係留時に想定される抵抗力に対しては十分であり、これ以上、設置作業の為だけに改良時間を割くよりも設置方法を見直すことで実運用に耐え得る方策を検討することにした。最終的なラッチ機構の耐負荷性能を図 4.1.10.に示す。



2001 年当時のラッチ機構　　現在の改良型ラッチ機構

(Rev.2)

図 4.1.8.ラッチ機構の変遷と主な改良部品

表 4.1.9. ラッチ機構開発評価履歴

期間	実施場所	試験内容	主な係留系機材	結果	事後対処索・追記など
2001/06 04-07	港湾空港技術研究所	一体型ラッチ耐久試験		最低到達目標を 180 回（1回／日×0.5 年）とし、それ以降は限界までカウントすることで実験を開始した。 196 回の昇降動作。最低到達目標は達したが、後半、ラッチ動作エラー回数が頻発した。 原因：スプリング復元力低下・ラッチバー接触部摩擦増	・ラッチ部品テフロンコーティング ・圧縮スプリングの強化 （ラッチ部ビデオ撮影を付け監視）
2001/09 04-09	淡青丸	一体型ラッチ短期係留昇降試験	ADCP, 重錘 300kg	設置直後、一次的にラッチ動作不良を起こす。後日、ラッチバー一つが押し子に噛んでいたことが再現できた。 最終的には8回の昇降に成功。 観測船から、計測ブイと水中自動昇降装置を一体化して回収することの危険性が指摘され、分離回収した。	・ロープガイドを太く、ラッチバーの爪を長くすることで、設置時に押し子が噛む事態を回避した。 ・計測ブイに深度・水温計の取り付け
2001/10 02-07	青鷹丸	一体型ラッチ短期係留昇降試験	ADCP, 重錘 300kg	設置成功。しかし、動作時にラッチ機構機能せず。 不良原因は、前回試験の事後対処策を実施した結果、許容開放傾角が狭くなったこと・爪を長くしたことで、テコの原理が働きプッシャー部の摩擦を大きくしたこと。	・プッシャー表面にテフロン加工を施し、摩擦係数を下げる ・構造上限界に近く、テフロン加工を実施・係留作業を終了したものを水槽試験で評価し、180 回×安全率 5 を満足できなければ、分離型ラッチ機構も併行検討を開始する。
2002/01	港湾空港技術研究所	一体型ラッチ耐久試験		日油技研工業（株）プール及び研究所水槽 計 350 回の昇降動作を問題なく行った/過負荷試験時に動作異常を起こした。 対策を施した効果はあったが、構造限界であると判断した。	一体型ラッチ所見 ・設置時の作業負荷・設置水面浮遊時のラッチ負荷 大。 ・ラッチ機構限界数： 約 350 回 （部品の表面損傷による） ・回収作業 観測船より安全性で分離回収を指導。
2002/02	日油技研プール	分離型ラッチ耐久試験		約 700 回の昇降動作を行った/金属製プッシャーに傷→摩擦増	・プッシャーを樹脂製に交換
2002/03	港湾空港技術研究所	分離型ラッチ耐久試験		1000 回の昇降動作を行った/特に問題無し	分離型樹脂製プッシャー/→約 1700 回の昇降を正常に行った。 ＝分離型ラッチ所見＝ ・設置時の作業工程数 分離型＞一体型 ・設置水面浮遊時のラッチ負荷 一体型＞分離型 ・ラッチ機構限界数 分離型＞目標回数＞一体型 ・回収作業安全度 分離型＞一体型 ＊＊＊結論＊＊＊ 今後は分離型ラッチで進める。
2002/06 02-08	淡青丸	海域試験（分離型ラッチ機構） 目的：システム挙動解析	第1回係留 ADCP,重錘 500kg 計測ブイカバー有 第2回係留 ADCP、重錘 400kg 計測ブイカバー無	第1回係留： 設置時、ラッチが開放していることが判明。状況がイメージできない中、ラッチを掛けずに3回の昇降動作を実施した。 第2回係留： 設置成功。昇降動作時にウインチが突然過負荷で停止。以後、動作せず。（ウインチドラムに大量の流れ藻絡まる）	・課題：重錘が 500kg→400kg によって生じる効果と計測ブイのカバー有無の効果を評価する。 ・プッシャーの縁を長くし、径を太くすることで強化を図った。
2002/07 08-09	青鷹丸	海域試験（分離型ラッチ機構） 目的：システム挙動解析	重錘 450kg	設置時ラッチから押し子がすっぽ抜ける。	・ラッチ補強限界と、想定強度＜設置時負荷であることが再認識され、設置時の負荷に耐え得る強度治具の搭載を検討

表 4.1.9.の開発期間を通して、係留系の主な構成要素に水深計を取り付け、設置時の各々の移動速度を測定した。その結果、計測ブイ及びウインチは重錘を投入した当初は 2m/sec で水平移動し、その後、係留系の構成要素が徐々に抵抗となり、水平移動速度は 1.3m/sec まで減衰することがわかった。水平移動の時間は、重錘を投入後約5分間継続した。そして水柱を2分半の間、～1.0m/sec で降下すした。この一連の設置段階で、ラッチに掛かる抵抗力は、水平移動時 119kgf,水中沈降時 32kgfと見積もられた。現在のラッチ機構強度は2倍弱の安全率を有していたが、実際にはそれ以上の抵抗力が働いたものと思われる。後述するが、この原因を我々は計測ブイのカウリング・並びにフィンから受ける作用と推測している。

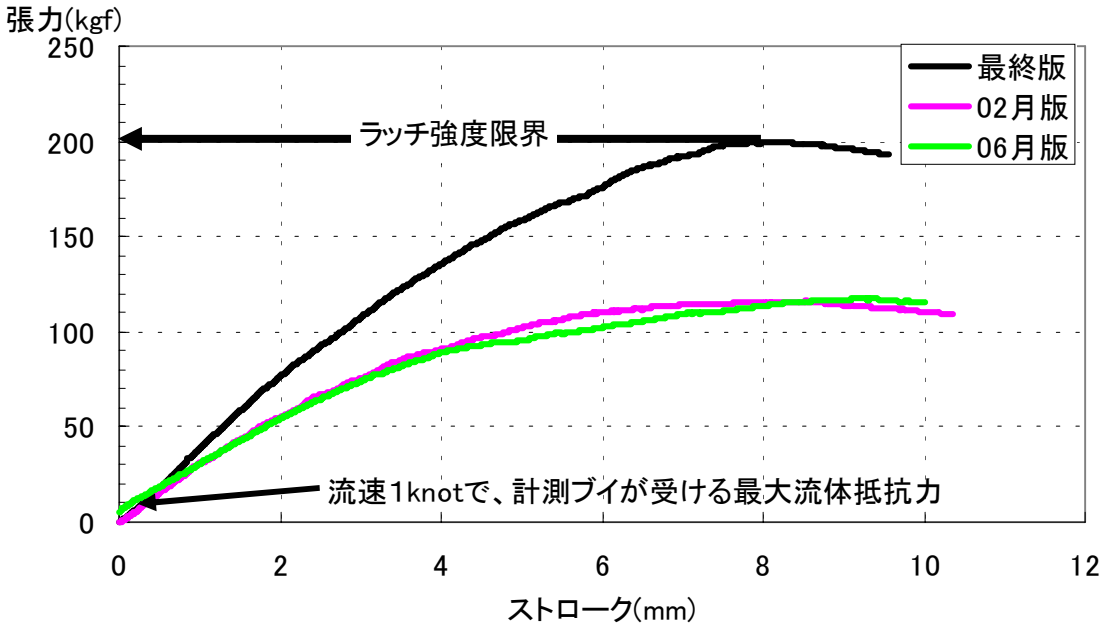


図 4.1.10 ラッチ機構の許容張力

我々の開発した、ラッチ機構は設置時の過負荷には耐えることは出来なかったが、平常の係留時の動作に関しては、繰り返し実施した海域試験において十分安定したロック機能を果たすことが確認できたので、ラッチ機構の開発を終了した。

4.1.2.3 音響切離機構の搭載

耐久性ラッチの開発では、結局、後述する係留系設置時の計測ブイのふらつきから生じる付加的な流体抵抗力に対応することが出来なかった。そこで、設置時に生じる流体抵抗力に対応でき、設置後安心して開放できる機構の付加が必要となった。音響切離装置を付加することによって生じた変更点を図 4.1.11 に示す。また、搭載した切離は切離荷重 500kgf のものを用いた。フック解除機構は船上から係留系が無事に静置したことを確認後、専用の音響通信機で指令を送り、エアバックと同じガス圧を利用してフックのロックを解除する。この機構を導入当初は部品点数増加・作業工程増加に伴う、作業・設置ミスなどが懸念されたが、現在まで 14 回の係留航海が組まれ、全て正常に作動している。分離型ラッチと切離装置の併用によって、実海域での運用が可能となった。

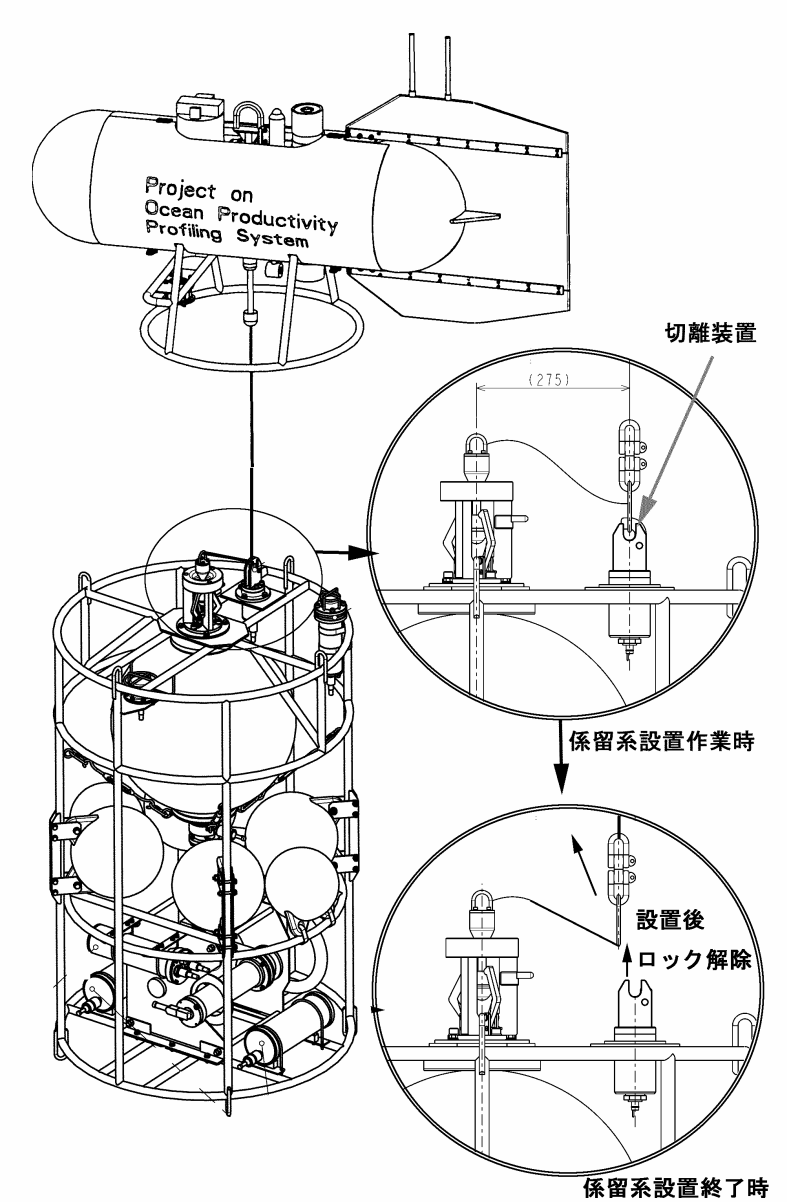


図 4.1.11.設置時における切離装置機能

4.1.2.4 ウインチ能力の向上

図 4.1.7.の机上検討に伴い、ウインチ駆動部も従来のギヤモーターから小型で大きなトルクを引き出せる流星ギヤへと変更をおこなった。モーターのトルクは従来 3.9Nm であったが、これにより最大 91.5Nm となり、単純計算でも 20 倍強の補強をおこなったこととなる。現在はプログラムソフトで電流制限をかけ、ウインチの最大引き込み能力を約 100kgf としている。これは海面状況が静穏であれば、海流が 2knot でも計算上、計測ブイを引き込める能力となっている。

このウインチの負荷別消費電力量(実測)を図 4.1.12 に示す。図の結果から、計測ブイ上昇時はその浮力によってケブラーロープが繰り出され、電力を殆ど消費しないことが判った。今後、流体抵抗力と浮力から見積もれる理論上の消費電力量と、実海域で消費した電力量の差違の評価を進めることによって、より実海域に沿った消費電力量と耐久回数の算出をおこなう。また、ADCP によって得られている流速分布と比較することで、より広範囲の海域に対応できるシステムの開発のための設計資料にする予定である。

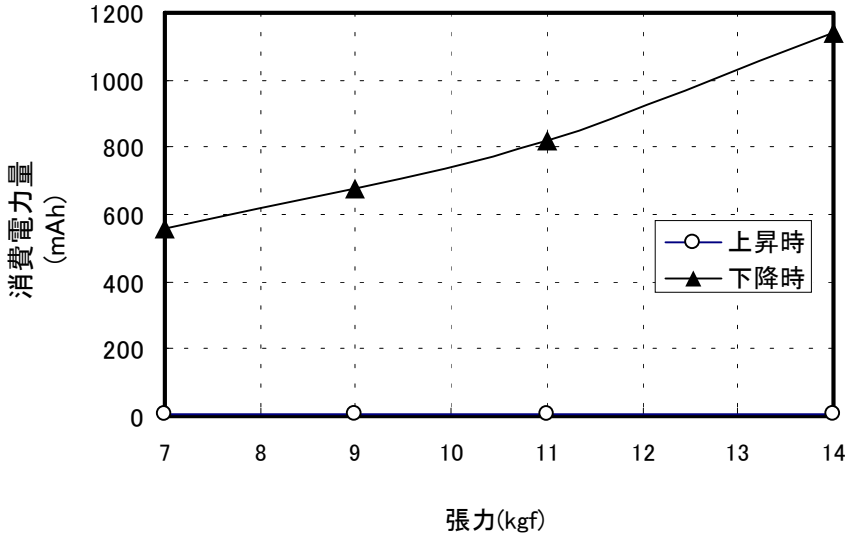


図 4.1.12 張力一定状態で 150m 長ケーブルを繰り出し(上昇)／巻き取り(下降)した時の実測消費電力量。上昇時は張力によらず 5mAh でほぼ一定。

4.1.2.5 音響通信装置の搭載

水中自動昇降装置と計測ブイ間は水中で音響(超音波)信号によって互いに状況確認しながら稼働している。また、水中自動昇降装置は、安定した深度に係留されていることより、研究支援船からの超音波指令を確率高く送受することが出来る。このことを利用して、搭載されている音響装置は、研究支援船との交信用に2つの波長帯、計測ブイとの交信用に1つの波長帯を持っている(図 4.1.13)。

音響によって交換される情報は、基本的な動作指令・構成要素の現状報告に留め、データ長は7バイトによって構成されている。表 4.1.14.に音響通信装置開発仕様書を抜粋したものを掲載する。

表 4.1.14. 音響通信開発仕様書(抜粋)

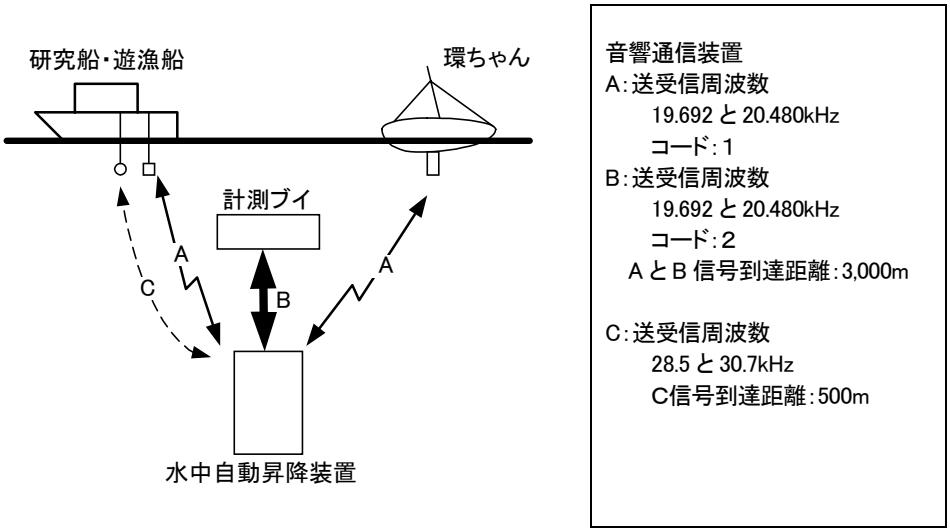


図 4.1.13. 音響装置通信系統図

支援船舶と計測ブイの水中通信は、全て水中自動昇降装置を介しておこなう。A、B は強い超音波のため、頻発すると反響によって信号を受理しづらくなるときがある。その為、現場状況を考えて、C を利用することもある。

音響データフォーマット

音響データはコマンドとレスポンスの2種類から成る。フォーマットは共通している。但し、深度通知はフレームの一部を特殊構成とし、送信のみとする。以下は共通データフォーマットである。

①ｽﾀｰﾄｷｬﾗｸﾀ	②制御種別	③区切記号	④制御先ﾃﾞﾊﾞｲｽ ID	区切記号	⑥ｵﾌﾟｼｮﾝ

① スタートキャラクタ ＜1バイト＞ **#・・・コマンド、 %・・・レスポンス**

② 制御種別 ＜1バイト＞

上昇	R
下降	F
停止	S
リハーサル	H
ウィンチのステータス要求	W
ブイのステータス要求	B
深度通知	D

③ 区切記号 ＜1バイト＞ ,（カンマ）

④ 制御先デバイス ID ＜2バイト＞
ウィンチあるいはブイに取り付けられたリモコンのデバイス ID 01～FF
ウインチを 01,計測ブイを 02 と規定する。

⑤ オプション ＜2バイト＞
（1） 深度通知以外
コマンド／レスポンスの拡張用として使用し、256種類のオプションデータを表示する。 **00～FF**（000～255）
（2） 深度通知
ブイが計測した深度を表示する。**00～FF**（000m～255m）

◎ フォーマット一覧

制御種別	コマンド	レスポンス
上昇	#R, ＊＊, ＊＊	%R, ＊＊, ＊＊
下降	#F, ＊＊, ＊＊	%F, ＊＊, ＊＊
停止	#S, ＊＊, ＊＊	%S, ＊＊, ＊＊
リハーサル	#H, ＊＊, ＊＊	%H, ＊＊, ＊＊
ウィンチのステータス要求	#W, ＊＊, ＊＊	%W, ＊＊, ＊＊
ブイのステータス要求	#B, ＊＊, ＊＊	%B, ＊＊, ＊＊

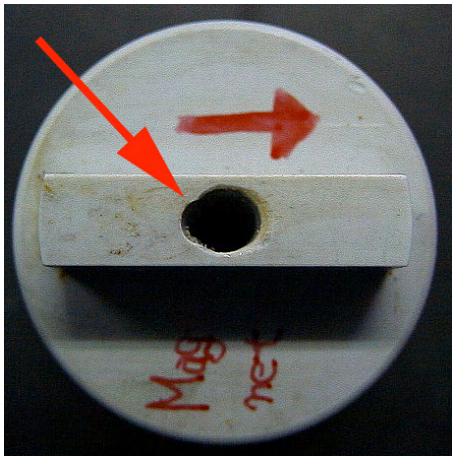
4.1.2.6 その他の変更・改良点

a)～d)に挙げた大きな開発改良点の他にも、プロジェクトを通して、随時 設計変更・改良・現場の知恵による問題対処を実施した。これらは、見落としがちな小さな工夫であるが、得てして実際の運用の正否を最後に決めることを我々は肌で知っている。この機会を通じて記しておく。

・ウインチ巻き取りケーブル径の変更 (2000 年納入時)

従来(AES-1) φ2.3mm ケブラー外装ケーブル 破断強度:159kgf を
現在(計測ブイ) φ3.8mm ケブラー外装ケーブル 破断強度:635kgf に変更した。

・テンショナー(ウインチの張力監視機構)材質変更　(2002 年 10 月試験結果より)



テンショナー摩耗部分

2000 年に納入した装置は水槽試験や海域試験を通して、相当数の基礎動作を繰り返した。2002 年 10 月青鷹丸実験に於いて、当時、耐久材と判断していた PVC 製のテンショナーが摩耗し、ロープがささくれ、機能停止した事故があった。材質の改善と共に、耐久材から耐久消耗材に位置づけを変更し、整備点検項目へと移行した。

テンショナー構造は、関係者秘なので、摩耗部分だけを記載する。

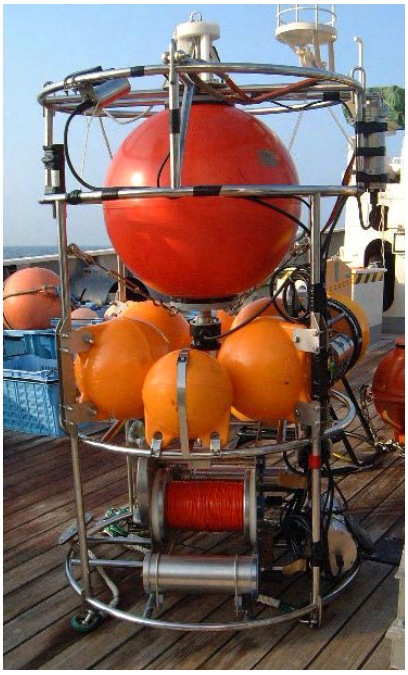
・水中自動昇降装置起動システムの変更　(2002 年～2003 年)

従来は水中自動昇降装置に内蔵した時計と設定タイムテーブルによって起動する方式であったのを、計測ブイ／支援船からの音響指令による起動が可能なように変更した。

変更以前は、計測ブイと水中自動昇降装置　個々に同じタイムテーブルを入力する方式であった。この方式の問題点は、準備が煩雑になること・各内蔵時計の精度が不均一であり、長期間の運用を行った場合に時計誤差がシステムの動作を不安定にする恐れがあった。2000 年から 2002 年前半までに実施した現場海域の音響データを解析した結果、近距離(計測ブイと昇降装置　各トランスジューサー間　約 10m)での音響通信がほぼ 100%確実に出来ると判断し、変更を実施した。

・フレームネット貼り　流れ藻対策の実施(2002 年 06 月　海域実験事故以降)

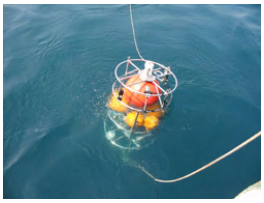
係留系設置の際、20 分程度、現場水深－150m(相模湾では 1300m)の長さの係留機材が水面を漂う。2002 年に水中自動昇降装置に搭載した水中カメラの映像・係留系の設置位置と重錘投入点の関係・深度計データにおける係留系構成要素の沈降開始時間と沈降速度の関係などのデータを解析した結果によると、システムは 1～2m/sec の速度で、相模湾の場合 1,200～1,300m ほど水平移動している。 その間、海表面を浮遊していた流れ藻が水中自動昇降装置に絡まり、システムが動作不能に陥った。この事故以後、水中自動昇降装置の周りにネットを張り、流れ藻に対する防御対策とした。



対策前
この状態で設置

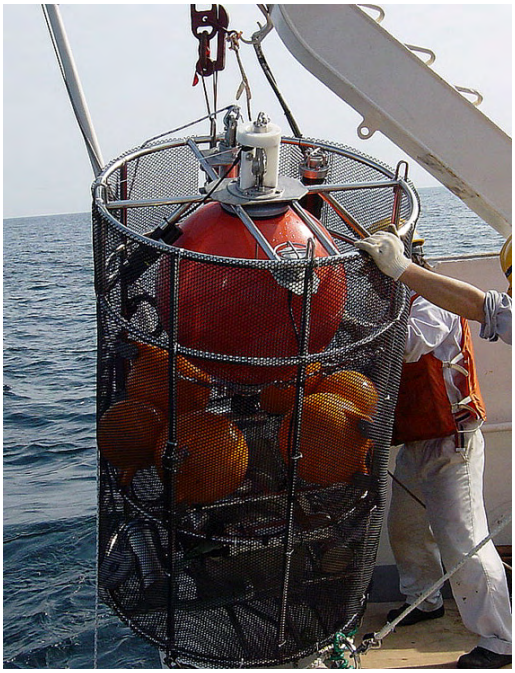
対策前設置風景

↓



↓

ウインチ駆動部に流れ藻が絡む



対策後

上の写真は 2002 年 06 月淡青丸第２回係留作業時の資料である。当時は、耐久性のあるラッチ機構の開発を終了した直後であり、システムの実海域試験を再開した直後の出来事だった。

第１回係留作業時は、設置工程途中でラッチが開放されてしまうアクシデントが起こっていた。

この淡青丸航海では、様々な課題が持ち上がったが、数多くの貴重な状況データを取得できた。その結果、２ヶ月後には、切離装置を搭載した現在の水中自動昇降装置へと発展を遂げることが出来た。

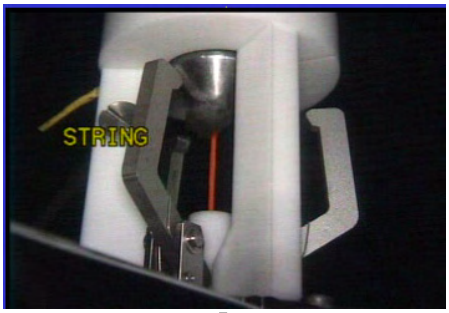
水中ビデオカメラによる設置工程／稼働状況の確認（2002 年後半）

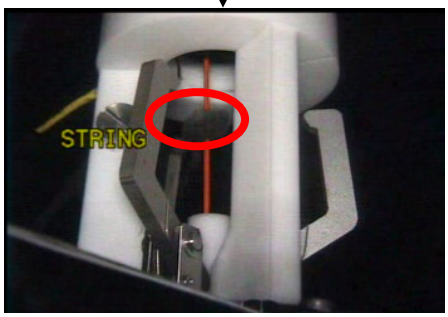
自動昇降式ブイシステムが実海域での観測に使用出来るようになるまでには、前ページに挙げたような幾つものトラブル・課題と原因推定・究明そして対策の作業を繰り返した。これらの作業の中で、自動昇降装置に装着して水中動作のすべてを観察するために導入した水中ビデオカメラは大きな寄与を果たした。

2002 後半に推定原因を検証するために取り付けたビデオカメラ

ラッチ機構

動作不良時原因特定



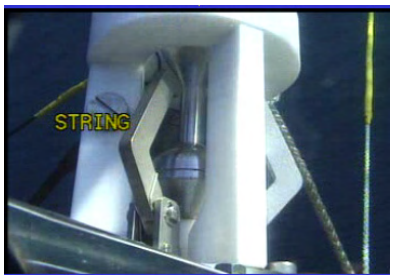


水中自動昇降装置の動作記録と、カメラの記録から不良動作時の原因特定が出来た。

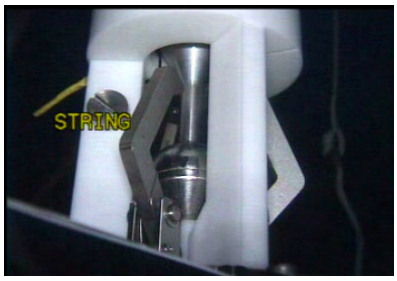
係留系設置工程での挙動解析

↓

↓



↓



係留系設置作業の一部始終を連続撮影した映像データから、

1：重錘投入から水中自動昇降装置が沈み込み開始するまでの時間と水平移動の状況

2：水面から水中に沈み込む状況

3：水中降下時の計測ブイの錐もみ状態の把握（画面右の緊張ロープの挙動から）

4：係留系静置後、切離が開放されるときの状態

以上４つの過程を克明に検証が出来た。

4.1.2.7 まとめ

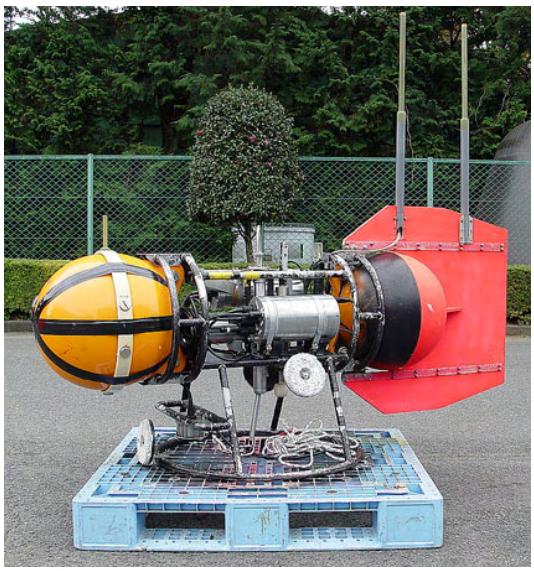
以上の様にして、机上検討→対策→水槽試験→改良→水槽試験／海域試験→新たな技術課題→原因の推測→机上検討→対策、、、、→検証の作業を繰り返しておこない、当初計画案よりも約1年遅れたものの、2004年には表4.1.6 2)に示す仕様の広範囲の使用に耐え得る省電力型高性能の水中自動昇降装置の実機を完成した。

4.1.3 計測ブイ開発の経過

冒頭で記したが、計測ブイの大型化に伴い、抵抗がより少なく 且つ 光学測器を搭載するのに適当なブイの形状を決定することが、最初の技術的課題であった。しかし、それ以上に長期間係留を設計思想に置いていない搭載センサーの調整は更に大きな技術課題であった。また、水中自動昇降装置と比較し、作業リスクの著しく高い計測ブイの不測の事態に備えて、GPS 通知システムを独立して搭載することもプロジェクトの進捗に伴って実施した。これらの開発について以下、報告する。

4.1.3.1 形状の検討

2000 年当時の計測ブイ

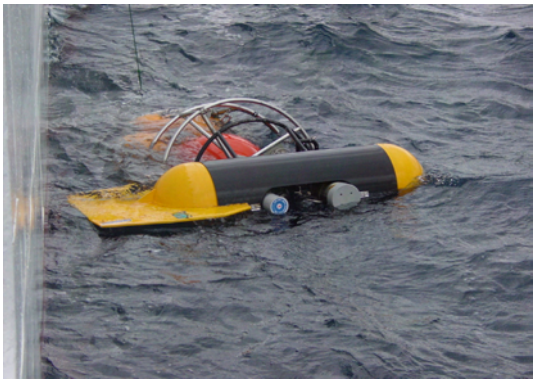


現在の計測ブイ

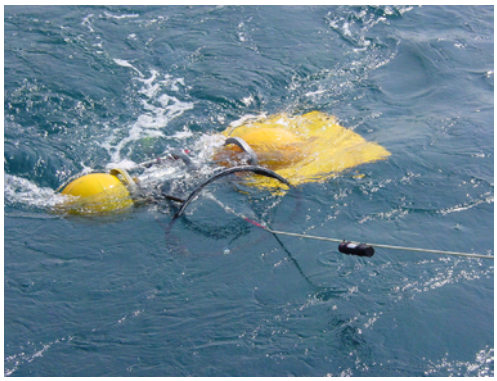
図 4.1.15. 計測ブイ形状の変遷
写真左の計測ブイは幻の第1号機である。製作後、日油技研工業(株)のプールにおいて予備的な水中挙動試験をおこなったが、1knot 相当の水平流に対しても、姿勢変更は鈍かった。フィンの機能が予想に反した為、海域に持ち込む前には既にフィンの形状を変更した。

計測ブイの形状を決める上での最大の留意点は搭載センサーの分光放射計 PRR-800 に要求される許容測定傾角が±10 度以下でセンサー上下方に遮蔽物が無いことの条件、及び、ウインチの能力に余裕を持たせるために極力水の抵抗を受けない構造にすることであった。計測ブイは下方1点でウインチと繋がっており、ブイ下方では係留系からの張力を受ける。また、上方への張力はウインチ能力によって、僅か9kgfほどの自己浮力しか存在しない。その為、左右上下のバランスが悪ければ、流れの影響を受けたり係留系からの影響を受け、絶えず傾いていたり、振幅を繰り返すことが予想された。これらを軽減するために、我々は方向舵(フィン)を取り付ける、ブイにカウリングを装着する、両端に位置している浮力ブイにバラストタンクを設ける、実海域でのブイの物理的な挙動だけを把握するために挙動解析用ブイを製作し、海域で実験するなどの対策を実施した。

図 4.1.16 に1号機の前に実海域に係留された挙動解析用ブイを示す。



挙動解析用ブイⅠ
カウリング付き、ラッチ機構1体型、
フィン長方形
結果：設置時、ウインチに与える負荷
過剰の為、不採用



挙動解析用ブイⅠ
カウリング無し、ラッチ機構1体型、
フィン長方形
結果：設置時、ウインチに与える負荷
過剰・フィン大き過ぎの為、不採用

挙動解析用ブイⅡ
カウリングなし、ラッチ機構分離型、
フィン現在形
結果：設置時、水中、水柱でのバランス良の為　採用
（データ参照）

挙動解析用ブイⅡ
カウリングあり、ラッチ機構一体型、
フィン現在形
結果：設置時、ウインチに与える負荷
過剰の為、不採用　（愛称：凧）

図 4.1.16　挙動解析用ブイ
搭載センサーの PRR-800, FRRF（当時　Chelsea 社製）は模造品とし、CTD は実機を搭載した。データロガー内部に XY 傾斜センサーと方位計を搭載した。係留実験時には、係留系下部に上向き ADCP を組み込み、ブイ存在水深の流向と流速データを取得し、総合的な評価をおこなった。

図 4.1.17 は挙動解析用ブイⅡ型による 2002 年 02 月（カウリング有り）、2002 年 10 月（カウリング無し）における実海域でのブイの挙動を示している。データから計測ブイ待機深度においても、観測点では 0.5knot 程度の流れが絶えずあり、流向も分散していることが判る。また、時には 1knot 以上の流速を観測することもあった。これらデータばらつき具合は、計測ブイ形状の基礎工学データを取得できる点で、最適な現場環境であった。

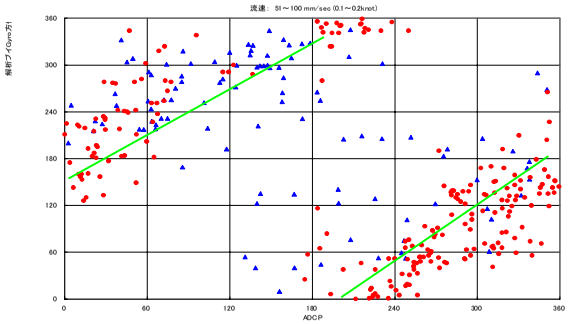
図から、0.1～0.2、0.2～0.5、0.5～1.0knot の流速に対して、ブイ形状の違いから生じる傾向の差違は認められなかった。また、～0.2knot に対しては、理想的な挙動をとらなかったが、0.2knot 以上の流速に対しては良く追従している結果となった。そこで図 4.1.7 によって移流から生じる計測ブイの抵抗力を比較した。 ～0.2knot の範囲では、計測ブイの向きは不安定であるが最大でも 0.3kgf の力を超えない。0.2knot 以上では、計測ブイは流れに対して縦に向き、そこから生じる抵抗力は、1knot においても

1.4kgf 程度であり、想定していた最悪の抵抗力 7.4kgf の5分の1にも満たないと判った。また、この結果から、計測ブイが水中にある間は、例え 2knot の流速があったとしても水平方向の抵抗力は 5.6kgf 相当であり、浮力とケーブル巻き込み速度から生じる鉛直縦方向の抵抗力の和＝約 9.0kgfから見積もられるウインチに掛かる負荷は約 11kgf となり、計測ブイを水面から水中に引き込みさえ出来れば、水中では十分に待機位置まで引き込めることが推定できた。

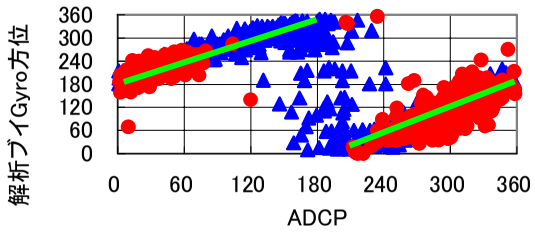
更に、計測ブイの水中挙動を制限する要素は、この海域状況においてはカウリングよりもフィンの効果が支配的であることが判明した。

図 4.1.18 は挙動解析用ブイⅡ（カウリング無し）における昇降時の動揺を示している。計測ブイは、待機位置から静かに毎分8から9mの速度で上昇を開始し、水面で数分間、取得データを伝送するために漂う。漂った後、毎分4から5mの速度で下降し、待機地点まで下降する。図から、上昇時の動揺（ピッチング及びローリング）が極めて少なく、安定しており、PRR-800 の測定許容範囲内にあることが判る。また、水面においては波の影響を受け、20 度以上も傾くことがあること、そして下降時は水面を漂った時の動揺を継承し、緩やかに減衰しながら移動していくことが判明した。このことは、我々が想定していた「計測ブイ上昇時にデータを取得する」ことが、理に叶っていることを裏付ける結果となった。

更に、このデータは、計測時に於いて、カウリングが存在しなくても十分に目的にあう形状であることを示していた。



流速： 101～250 mm/sec (0.2～0.5knot)



流速： 251～500 mm/sec (0.5～1knot)

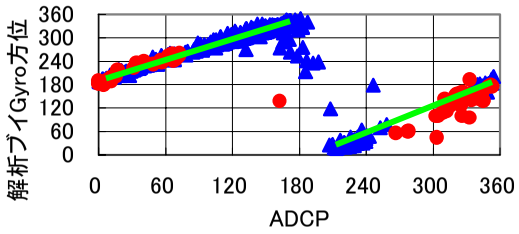


図 4.1.1　相模湾央部水深約 150m に設置した計測ブイと流速・流向の関係。
図中青△:カウリング無、赤〇:カウリング有、緑線:理想的な傾向。点数は、地点の流速分布も示す。

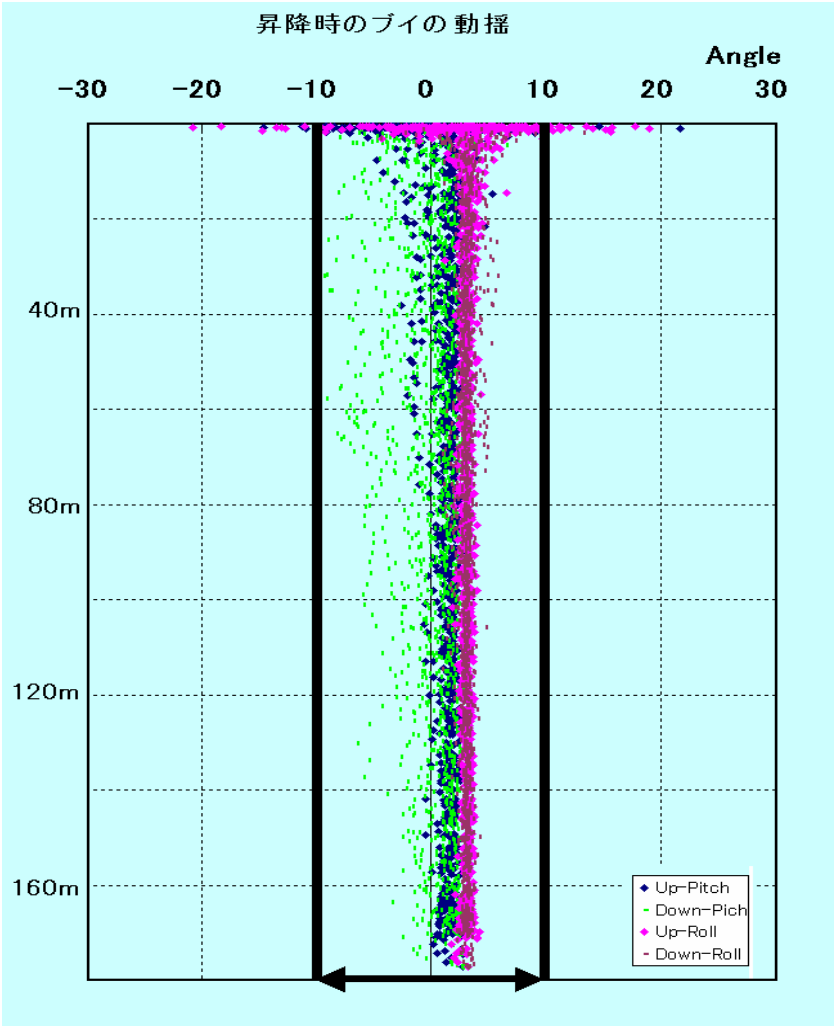


図 4.1.18　計測ブイ(カウリング無)昇降動作時における動揺
2002 年 12 月から 2003 年 01 月にかけて係留した全 46 回の昇降動作中のデータ。グラフ下部の矢印の範囲は PRR-800 の測定許容範囲を示す。

図 4.1.19 は挙動解析用ブイⅡ型による 2002 年 06 月の実海域試験における 2 回の係留作業中の挙動を示している。設置作業時の海況・設置位置はほぼ同じである。計測ブイ着水時点を 0 分として、時間経過を示している。この時の実験相違点を表 4.1.20 にまとめる。

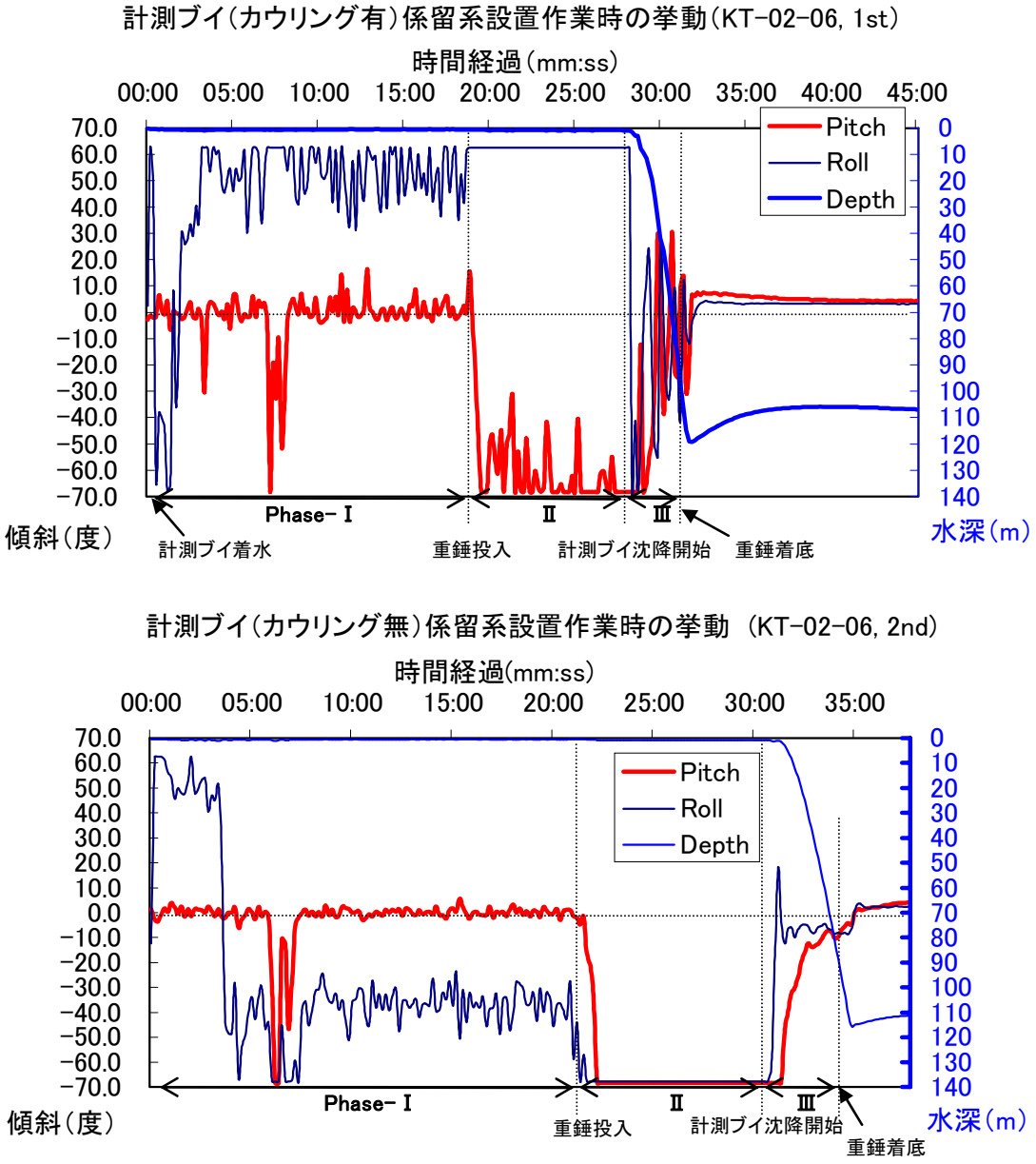


図 4.1.19.挙動解析ブイⅡ型の係留系設置作業時の挙動

2002 年 06 月 02～08 日　淡青丸で2回の係留作業を行ったときのデータ。上段:カウリング有　下段:カウリング無。係留系設置作業時を3つの段階(phase)　Phase-Ⅰ:計測ブイ投入～重錘投入(計測ブイが係留系からあまり大きな張力を受けずに漂っている状態)、 Phase-Ⅱ:重錘投入～計測ブイ沈降開始(重錘が投入されることで重錘の落下スピードとほぼ同じ速度で、水面を走る状態)、Phase-Ⅲ:計測ブイ沈降開始～重錘着底(水中を沈降している状態)に分けて評価した。

表 4.1.20.実験状況の主な相違

		第1回係留作業	第2回係留作業
計測ブイ形状		カウリング有	カウリング無
重錘		500kgf	400kgf
その他の構成機材		同一	
主要 イベント	投入開始－重錘投入 ＝Phase-Ⅰ＝	所要時間 約 18 分 40 秒	所要時間 約 21 分 20 秒
	－ブイ沈降開始 ＝Phase-Ⅱ＝	所要時間 約 09 分 30 秒	所要時間 約 09 分 30 秒
	－重 錘 着 底 ＝Phase-Ⅲ＝	所要時間 約 03 分 10 秒	所要時間 約 03 分 50 秒
設置作業の判定		失敗	成功

図表から幾つかの重要なことを読みとることが出来る。まず、Phase-Ⅰにおける計測ブイの横揺れについては、カウリング有の方が無と比較して 1.5 倍多く傾いていること。これは計測ブイの横腹に受ける流速が生じた時、復元力においてカウリング無しの方が勝っていること。(但し、図 4.1.17 に示すように係留系を設置した後には、この様な環境条件は存在しない。)また、Phase-Ⅱでは挙動解析用ブイ内蔵の傾斜計の検出限界を振り切っていることから、ほぼ横倒しの状態で水平移動していること。Phase-Ⅲでは Phase-Ⅱの複雑な揺れ動きの状態からの復元力においてカウリング無の方が遙かに優れていることが判った。特に、Phase-ⅡとⅢでは、水中カメラの映像なども参考にした結果、開発担当者が想像していなかった様な抵抗力が生じているらしいことが判った。また、全 Phase を通して、カウリングの存在がより大きな抵抗を生むことが判明した。当時、データから推測したブイの挙動を、図 4.1.21 に示す。

以上の実験データを参考に、我々は計測ブイの最終的な形状を図 4.1.15 右の写真に見られるようにカウリング無しで写真のような形状のフィンが良いと判定した。そして、図 4.1.17,18 に見られるように学術用途で広範囲に応用の利く、計測ブイの形状であると判断した。

本プロジェクトのハイライト（*日誌より*）

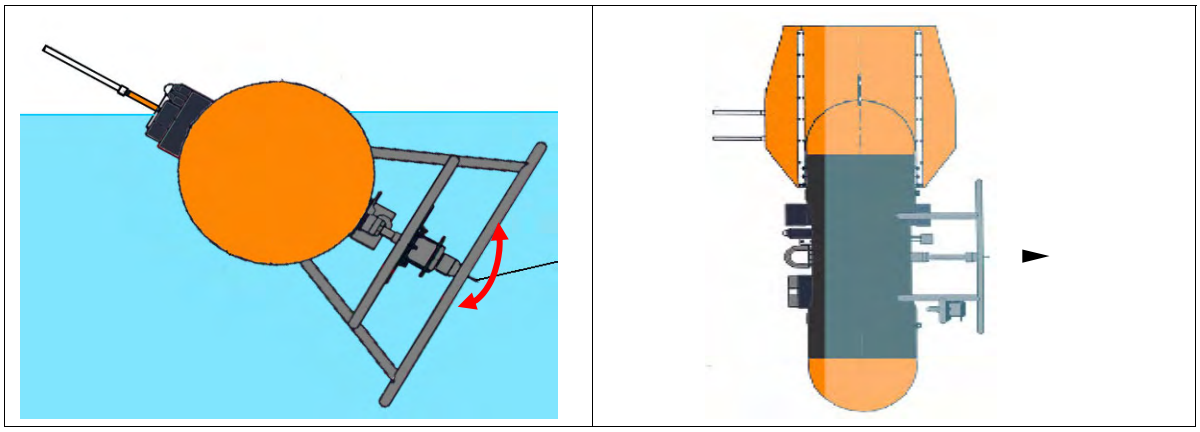
大破したブイから奇跡的に回収されたデータロガーのデータを解析して、設置時のブイの挙動がわかった。これによって直ちに対策を立てることができた。

2002 年 07 月 11 日（木）
10～12 時　新橋第一ホテルロビー　才野・日油技研工業（株）データ評価
13～16 時　虎ノ門地球変動事務所　才野・JST 現況報告
17～19 時半　東京水産大学　才野・石丸・日油技研工業（株）データ評価
20～21 時半　東京駅構内　才野・日油技研工業（株）データ評価
結果：切離を用いた予備的な係留実験の採択を決断。

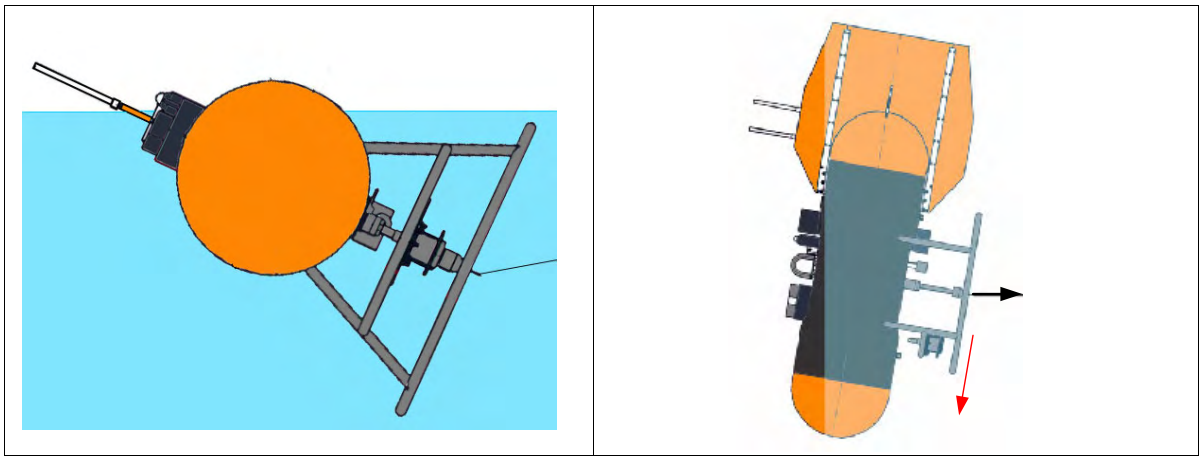
この決断によって、ラッチ機構の開発を完了し、実運用試験に全力を注ぐことができた。また、主センサーFRRF の自主開発にも取り掛かることとなった。

係留系敷設時の計測ブイ(カバー付)挙動 (KT-02-06 1st)

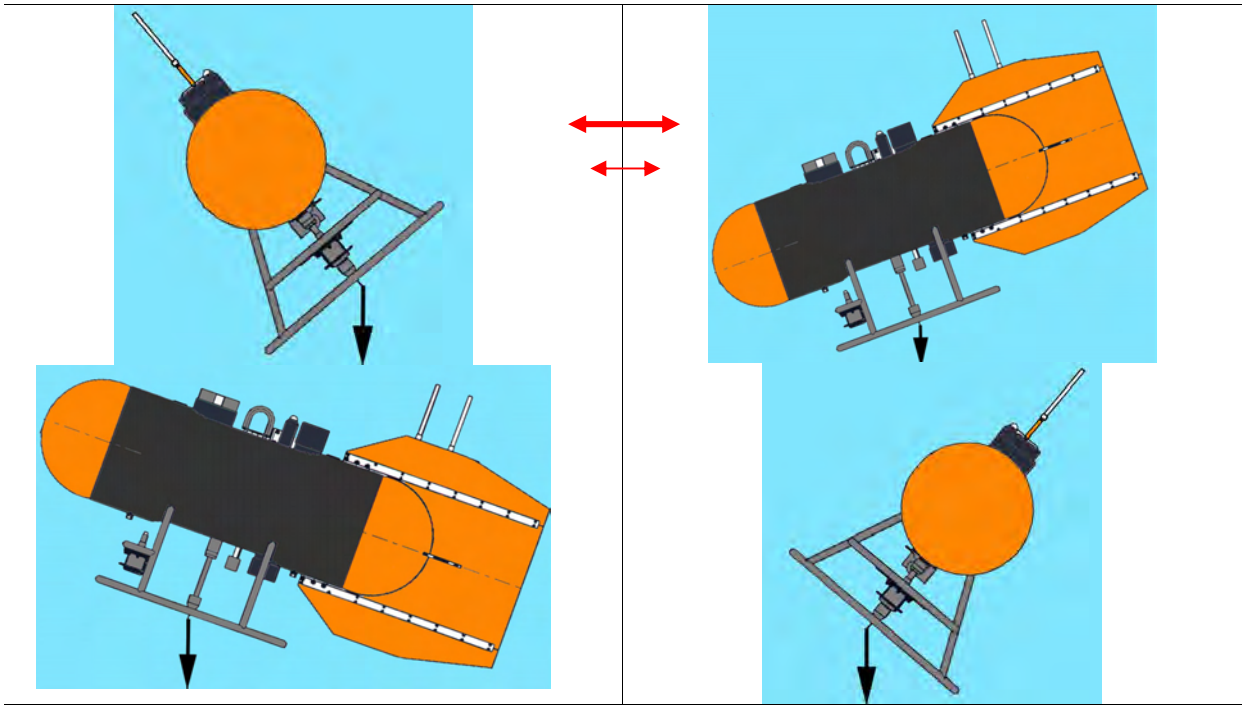
Phase-Ⅰ



Phase-Ⅱ



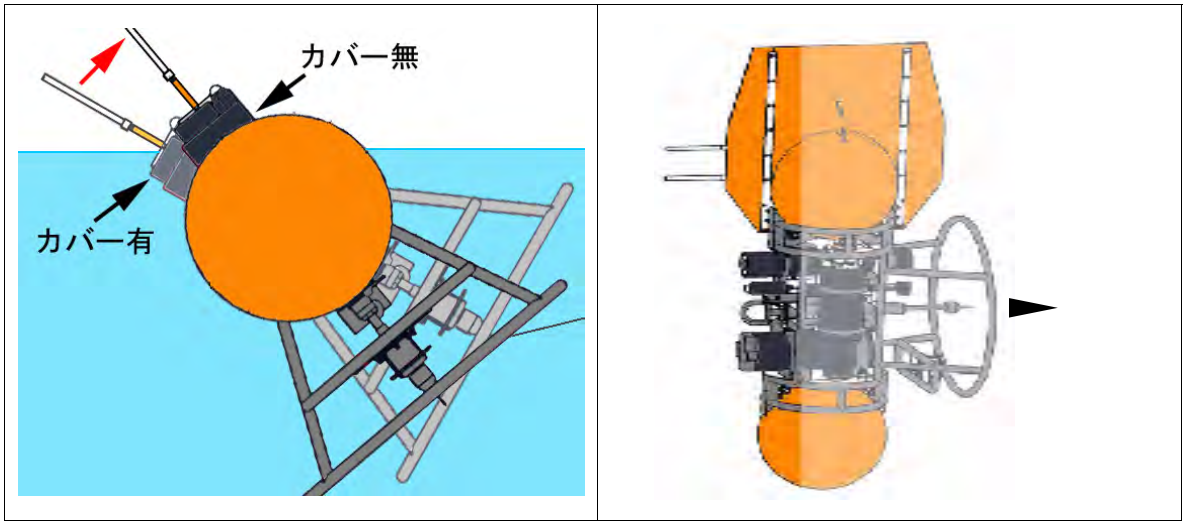
Phase-Ⅲ



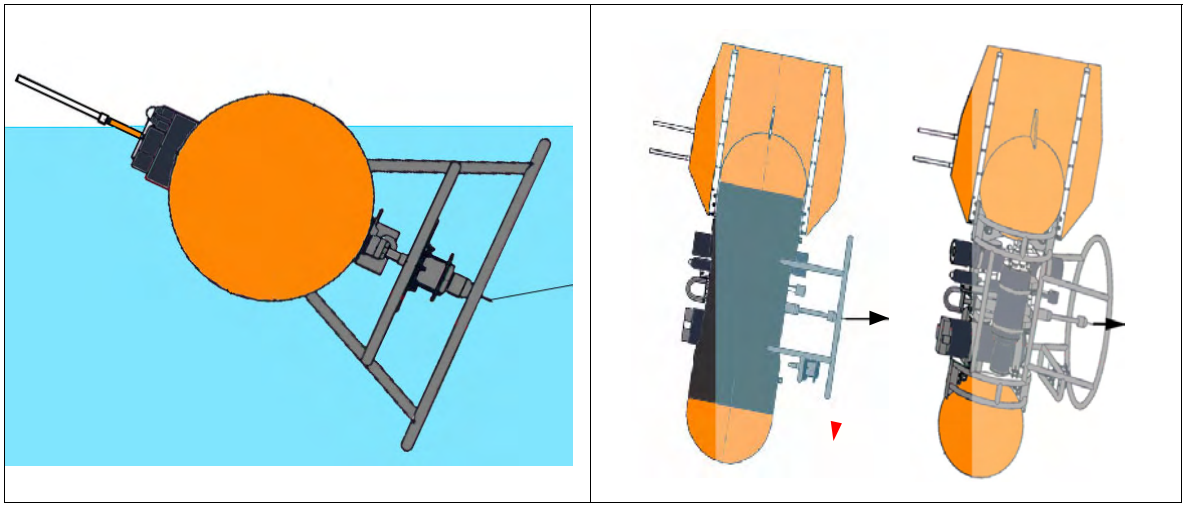
徐々に振幅が小さくなり、定常状態に近づくが、設置までに安定することはない。

係留系敷設時の計測ブイ(カバー無)挙動 (KT-02-06 2nd)

Phase-Ⅰ



Phase-Ⅱ (この局面はカバー付、カバー無の挙動は殆ど同じ)



Phase-Ⅲ

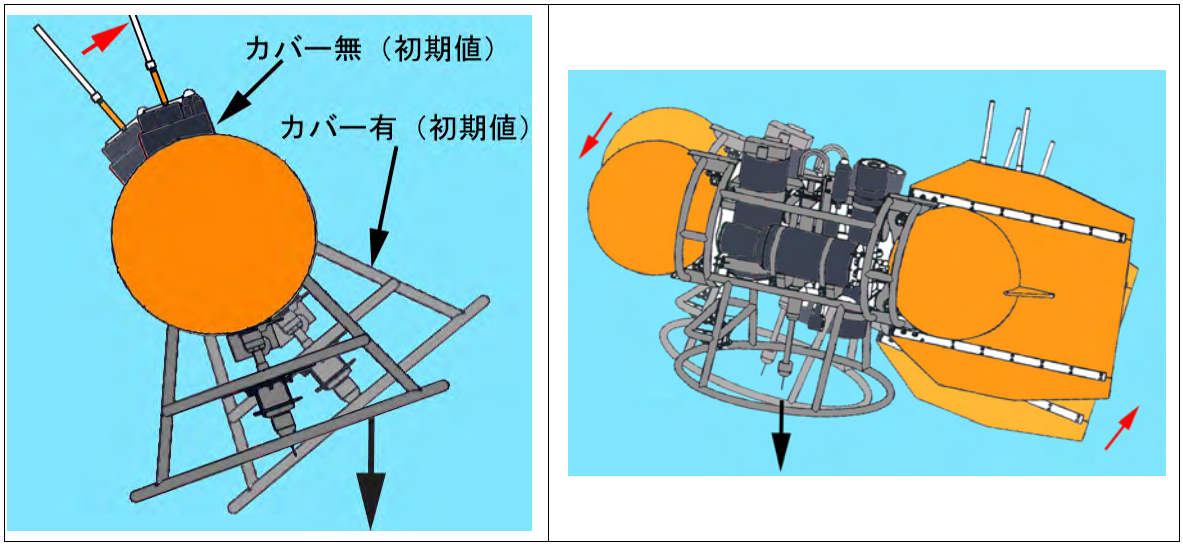


図 4.1.21. 係留系設置作業時の挙動イメージ (当時の資料から抜粋)

4.1.3.2 音響通信装置の搭載

4.1.2.5で報告したように計測ブイと水中自動昇降装置間の動作に関わる全ての情報伝達は超音波を介しておこなっている。水中自動昇降装置の章で、音響装置の仕様について報告したので、ここでは現在、抱えている問題点を報告する。

水中でも陸上におけるコダマが存在している。より確実な情報伝達が求められているので、我々の装置では一つのコマンド送信に対して数秒間かけている。音響の伝搬速度は、水中では約 1500m/sec であり、送信コマンドを受信判別している際中に、ある境界面で反射する超音波が複数入り込むことがあり（イメージとして図 4.1.22 参照）、音響信号を無効にしている。また、密度や温度躍層付近では音波が屈折して受信し難くなる。我々のシステムでは、水中自動昇降装置が水深約 150m に位置し、計測ブイが水柱を移動している最中の水深50～100m帯で音響通信が途切れる可能性が高い。我々は不感帯と言っているが、この不感帯に対する施策を数回行っているが、決定的な対応策は見つかっていない。この対策は、今後の課題である。

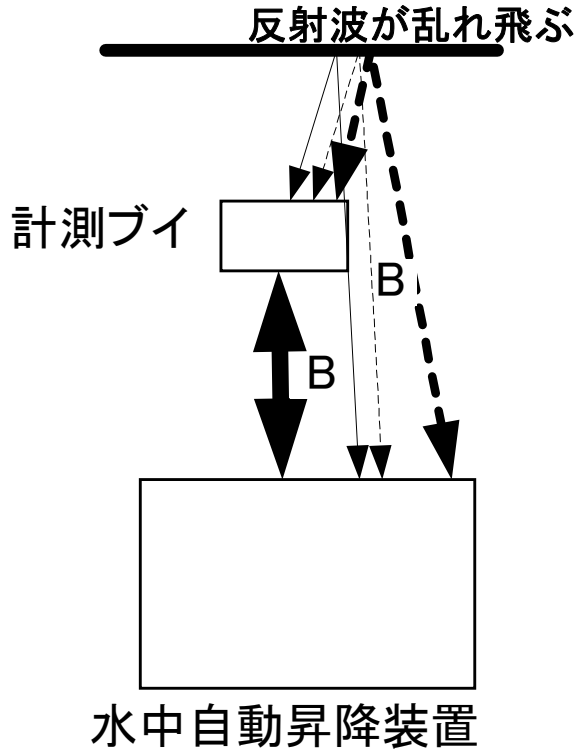


図 4.1.22.音響通信の障害イメージ

4.1.3.3 搭載センサーの調整と電源回路／ノイズ対策／異種金属

本プロジェクトでは紀本電子(株)の FRRF の開発を除いた総ての搭載センサーはカタログ製品を使用した。これらは耐圧容器の材質・通信速度・供給電圧・制御方式など一つとして同じ仕様の物は存在していなかった。また、海外センサーでは、取扱説明書に記載されている仕様にも日本的な解釈が通じないところが見られ苦労した。例えば、Chelsea 社製 FRRF では、装置購入の際に必ずバッテリーも同梱されてくる。但し、計測ブイは水中自動昇降装置のウインチ能力などにより、同梱の大きくて重いバッテリーを搭載することは出来ない。そこで、取扱説明書に従い動作電圧 DC18V 以上電流 500mA 電源で接続を試みた。しかしながら、起動しない。そこで、代理店などにも協力してもらい、調べた結果は、DC18V の印可で動作するときもあると言うことであった。 また、違う例では PRR-800 はデータ通信速度

が著しく速く、開発初期はこのデータをロギングする為にデュアル CPU の制御部を開発した。実際に動かすと問題なく動く。ある時、PRR-800 の付属通信ケーブルを換えたら全く動かなくなった。原因は、同型のケーブルであっても PRR-800 はケーブルと1対1の調整をして納品しているらしく、全く同じケーブルでなければ、時として PRR-800 の心臓部はノイズ対策が不十分で制御不能に陥ることが判った。

これらの経験を経て、広範囲な用途で使用できる計測ブイに求められる制御部の仕様を、

- 各々のデータ授受回路は他のデータ授受回路に完全に干渉しないこと
- 電源回路はノイズが乗りやすいので、センサーに応じて電源を物理的に分けること
- 同型装置であっても、一つ一つ細かな調整が必要であること
- 計測ブイ全体では数種の異種金属が混在するので、電蝕を防止するために同種金属でない場合には各センサー毎に絶縁すること

と決めて、そのための対応を実施した。その他細部に関する改良を積み重ねることによって、海洋計測プラットフォームとしてかなり汎用性のあるインターフェイスを開発することが出来たと考えている。

4.1.3.4 データ送信装置、並びに送信データ圧縮過程

採択当初、CREST 期間前半にも衛星通信網が発達し、それを搭載することで一つの通信プロトコルで全球上どこでも通信できるようになることを想定していた。その有力な候補と考えていたイリジウムが倒産したため、日本で利用することはできないと考えていた。しかし、イリジウムが再建され、2004 年春になって日本で利用できることを確認できた。これを受けてイリジウムを利用したデータ伝送方法の可能性を検討するために最終年度の後半、GPS通知装置にイリジウム通信を採用した。実機での通常のデータ通信としては NTT DoCoMo の携帯電話網を利用して、1回の伝送量を絞り込み、またアンテナを強化することで送受信確度を高めた。Chelsea 社製 FRRF を基準に開発したデータ送信用プログラムの概要を図 4.1.23 に示す。(現在は、紀本電子(株)製の FRRF を搭載している。紀本電子(株)製 FRRF では、Chelsea 社製のそれで体験した装置のブラックボックスを開封しただけでなく、今まで計測ブイのデータロガー側で考えられていたデータの抽出も可能になっている。)

表 4.1.23 取得生データから E-mail で送信するデータ(圧縮後)までの過程

	生ﾃﾞｰﾀ(Byte/acquisition)と 主なﾃﾞｰﾀ構成	150m 想定 (Byt/分布)	抽出項目と (Byte/data 単位)	抽出後 (Byt/分布)	圧縮後
CTD	71 Byte/acquisition 伝導度・温度・深度・時間 他 ｷｬﾗｸﾀ	10,650	40Byte/m 伝導度・時間 温度・深度	8,760	2,518
FRRF	3,242 Byte/acquisition Date, PAR Lamp, Press, F0,Fm, Ref.&RMT／Flashlet ×120 他 数種の情報	486,300	140 Byte／回 Seq, PAR PRESS, Fo, Fm, Fv, Sig-, τ	9,937	3,062
PRR -800	272 Byte/acquisition 輝度照度のフラグ 傾斜・波長別光量データ	40,800	272 Byte／回 抽出無し	8,116	1,976
	02/03 POPPS CREST 成果報告会資料から			03/11/20 14 時 実績	

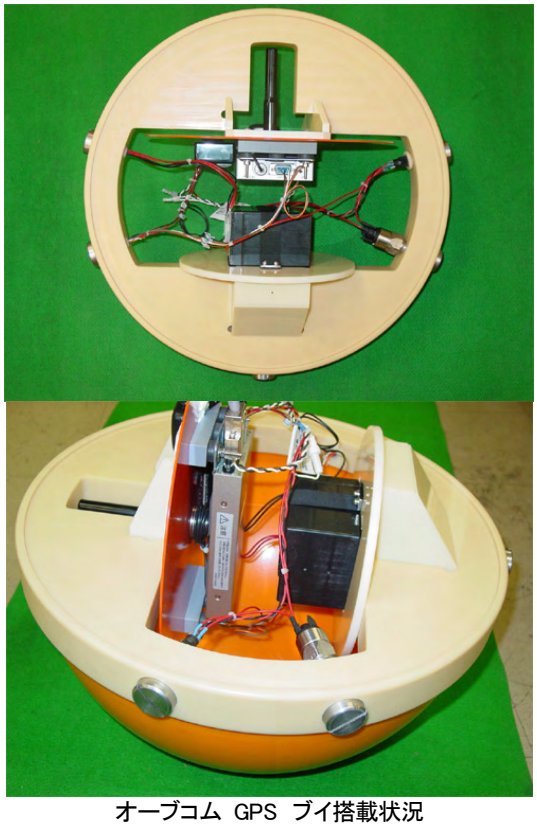
4.1.3.5 GPS 通知装置

計測ブイが不測の事故に遭遇する事態を想定して、計測ブイが海面に漂っている時に、自分の位置信号を通知するシステムを独立制御で搭載した。GPS 信号は、どの海域でもデータを送信できるように衛星通信を利用した。～2004/06 迄はゼニライト社製漂流ブイ(オーブコム通信衛星を利用)を利用して、耐圧機能と圧力センサーを持たせたもの、2004/07 月以降はイリジウム携帯電話を分解改良し、本計測ブイの挙動に合わせた GPS 通知装置を搭載した。表 4.1.24 に両者の簡単な比較表を載せた。

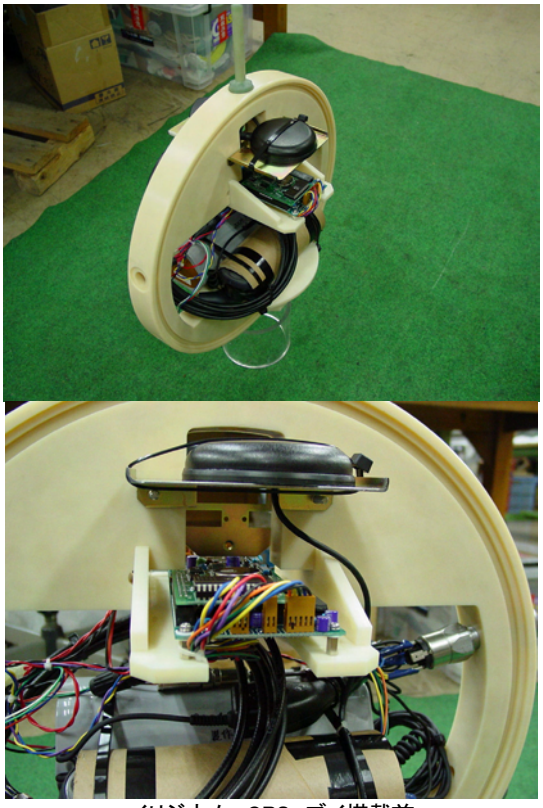
実際に 2004 年 08 月 03 日 01 時の動作の時に、計測ブイ結節金具が外れてしまい漂流した。この時、発見が早く、且つ淡青丸航海中であったため、その2時間後には計測ブイを回収できた。あまり喜ばしいことではないが、この時、実際の緊急時に GPS 通知装置が正常に機能することを確認できた。事故発生当時の生データをもとにデータの解釈をつけたものを図 4.1.25 に示す。

表 4.1.24. GPS 通知装置の変遷

	～2004/06(通称:ｵｰﾌﾞｺﾑ GPS ﾌﾞｲ)	2004/07～(通称:ｲﾘｼﾞｳﾑ GPS ﾌﾞｲ)
通信媒体	オーブコム通信衛星	イリジウム通信衛星
使用海域	茨城県を中心に半径 2500km 以内	全球
電池と寿命	シール型鉛蓄電池(12V5Ah) 電源 ON ホールド状態で1測定／時間で約2週間	リチウム電池(15.6V 90Ah)電源 ON ホールド状態で1測定／時間で約2ヶ月
システム起動方式	圧力スイッチによる起動(但し、圧力スイッチの値は固定) 毎時 50 分に測定(通知)間隔変更可能	圧力スイッチによる起動(圧力スイッチの値は可変) 随時測定(通知)間隔変更可能
その他(長所等)	市販製品改良の為 安価組込可能。通信費、電池等 ﾗﾝﾆﾝｸﾞｺｽﾄが安価。陸上で動作正常を確認後に投入が基本なので、正常動作しないことがある。	計測ﾌﾞｲ用に開発の為、動作が確実。位置追跡中に任意に設定変更可能。衛星同士の連携がオーブコムより確実なため、まとまったデータ伝送が可能。



オーブコム GPS ブイ搭載状況
システムはゼニライトブイ製



イリジウム GPS ブイ搭載前
システム開発は日油技研工業(株)

データ内容　$RP，　V，　020804，　155121．　591，　0000.0000,N，　00000.0000,E，　------，　------

$RP（ﾍｯﾀﾞｰ），V（GPS 未補足）or A（GPS 補足），標準日月年，標準時分秒，ms，緯度，経度，knot,Dir

```
RING
【2004/08/03 00:51:21 RECIVE】
CONNECT 9600/LAPM
$RP,V,020804,155121.591,0000.0000,N,00000.0000,E,------,------
                                                    （日本時間 08/03 0:51 ｲﾘｼﾞｳﾑ受信）
$RP,V,020804,155122.591,0000.0000,N,00000.0000,E,------,------
＝中略＝
RING
【2004/08/03 01:02:24 RECIVE】
CONNECT 9600/LAPM
$RP,A,020804,160224.999,3501.6859,N,13922.3353,E,0.36,------
                                                    （日本時間 08/03 1:02 ｲﾘｼﾞｳﾑ受信）
$RP,A,020804,160225.999,3501.6848,N,13922.3347,E,0.74,------
$RP,A,020804,160226.999,3501.6836,N,13922.3350,E,0.64,------
$RP,A,020804,160227.999,3501.6849,N,13922.3360,E,0.66,------
$RP,A,020804,160228.999,3501.6851,N,13922.3359,E,0.55,------
$RP,A,020804,160229.999,3501.6843,N,13922.3355,E,0.58,------
＝中略＝
CONNECT 9600/LAPM
$RP,A,020804,170124.999,3502.2629,N,13923.1973,E,1.15,42.16
                                                    （日本時間 08/03 2:01 ｲﾘｼﾞｳﾑ受信）
$RP,A,020804,170125.999,3502.2633,N,13923.1967,E,1.20,42.88
$RP,A,020804,170126.999,3502.2636,N,13923.1978,E,1.18,28.06
$RP,A,020804,170127.999,3502.2638,N,13923.1981,E,1.01,22.16
＝中略＝
CONNECT 9600/LAPM
$RP,A,020804,180200.999,3502.8253,N,13923.9349,E,0.36,------
                                                    （日本時間 08/03 3:01 ｲﾘｼﾞｳﾑ受信）
$RP,A,020804,180201.999,3502.8254,N,13923.9351,E,0.59,------
$RP,A,020804,180202.999,3502.8255,N,13923.9353,E,0.49,------
$RP,A,020804,180203.999,3502.8255,N,13923.9354,E,0.68,------
・・・・・
```

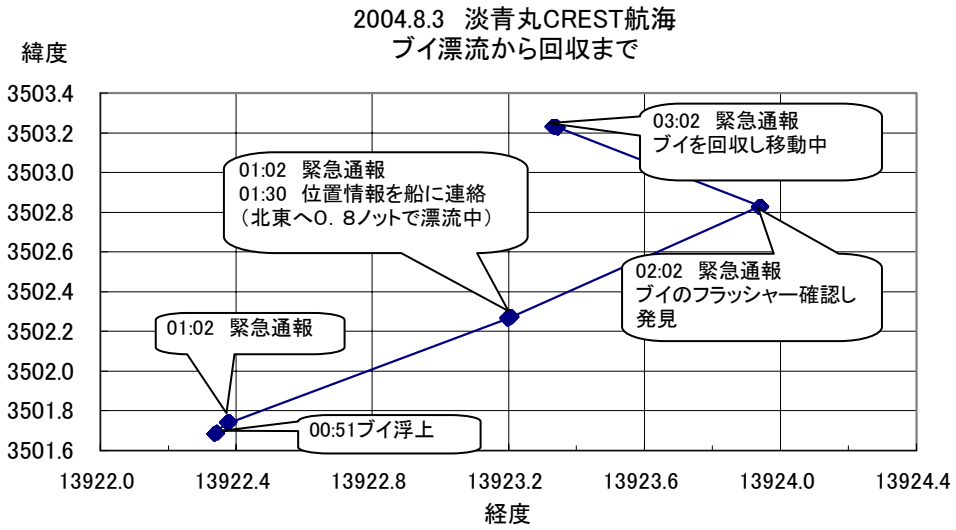


図 4.1.25　GPS 通知装置（イリジウム仕様）のデータフォーマットと漂流時の動作履歴

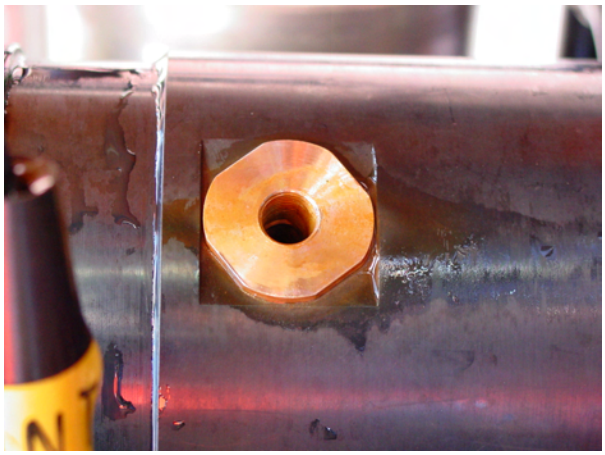
4.1.3.6 その他

見出しを付けた項目の他にも大小様々なイベントがあった。そして、随時それらに対応することを積み重ねることによって実用性の高い計測ブイが出来上がった。以下に記録に残っているイベントを列記する。

・PRR の浸水（2003 年 11－12 月係留試験）

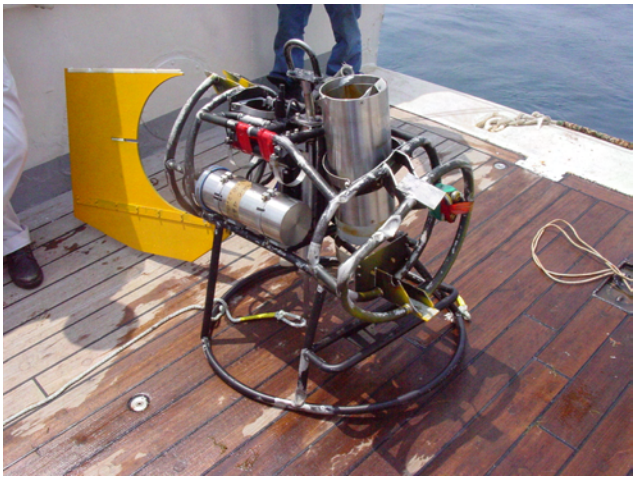
PRR はひずみ式の圧力ゲージを利用して深度を算出している。深度計のセンサー部はベロフラムというゴムでカバーされ、センサーとベロフラムの空隙には油が満たされている。長期係留を考慮した測器の内、深度計を本体に内蔵する例は最近殆ど見られない（Chelsea 社製 FRRF,日油技研工業（株）製海洋機器などは深度センサーを外装）。それは、ベロフラムが破れ、圧力ゲージから浸水する例が過去に数例あるからである。

写真は PRR 浸水部と推定される圧力センサー部



・挙動解析用ブイ大破（2002 年 06 月　係留試験）

水中自動昇降装置設置時に流れ藻が絡み、ウインチが動作不能に陥った。この時、状況を確認するために研究支援船が近づき、計測ブイと衝突した。写真は、奇跡的に回収できた破損した計測ブイ。



・オーブコム GPS ブイ送信アンテナ性能強化実験

オーブコム漂流ブイを耐圧ブイに入れると、データ送信性能が落ちることが判明した。そこで送信

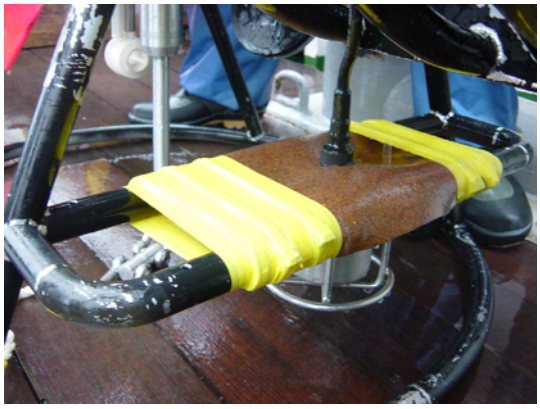
アンテナを耐圧ブイ外に出して、性能向上を図った。性能向上は確認できたが、耐圧性を維持する為に樹脂充填したところ、アンテナ感度が0に陥り、この対策は実用化されなかった。

・計測ブイ模型の製作

2002 年 06 月までの海域実験では、システムが所期目的を満足できないことが多かった。そこで、計測ブイの水中挙動を調査するために 1/4.4 スケールの模型を作成し、試験をする準備が進められた。模型ができた時には、図 4.1.19 に見られる挙動データが得られ、解析が終わり、問題が解決していた。水槽試験はおこなわなかったが、プールで水面を水平移動させ、カウリング有では抵抗力が大きく、引っ張られる方向に対して垂直に走ることが検証できた。

・音響伝送　不感帯対策

音響の乱反射から来るノイズを軽減するために、トランスジューサーの上方にコルクなど音波を吸収しそうな材料を張ってみたが、効果はなかった。



CREST 計測ブイ1号機（通称：吊り下げブイ）

自動昇降式ブイシステムが実際に運用できるまでの間、CREST 計測ブイ1号機は、浮力を外して、船上からのワイヤーで吊り下げることによって基礎データを取得するために運用した。この基礎データを参考に、実際のシステム運用時における FRRF 等の設定定数を決定した。また、この1号機によって、船上から吊り下げて取得できるデータセットとシステムによって取得できるデータセットの品質評価をおこなうことが出来た。それにより、システムによって取得できるデータは、海洋極表層においても波浪の影響を殆ど受けないことが実証された。

4.1.4 運用体制の確立並びにデータ取得例

4.1.4.1 音響通信詳細

4.1.2.5および4.1.3.2ではシステムに搭載されている音響通信の仕様・問題点について簡単に報告した。ここでは、水中自動昇降システムを支えている支援船で使用している音響通信装置について述べる。

本システムの運用の状況は、水中自動昇降装置との音響通信によって、随時モニターすることが可能である。図4.1.26 には、遊漁船や研究調査船に持ち込んだ音響通信装置を示す。遊漁船では研究者が立ち会うことが可能であるが船種によっては、電源供給を受けられないこともあることを考慮し、19.6～20.5kHz 帯の他に、28.5～30.7kHz 帯の音響通信装置を持ち込んだ。更に、作業に自由度がある研究調査船には、19.6～20.5kHz 帯の音響通信装置に電源供給源が起源となるノイズを抑えるためのノイズフィルター（安定化電源）を持ち込んで、水中自動昇降システムの実運用に至るまでの過程で有意義な状況データを取得することが出来た。船上で使用したこれら音響通信装置の仕様を表4.1.27 に示す。

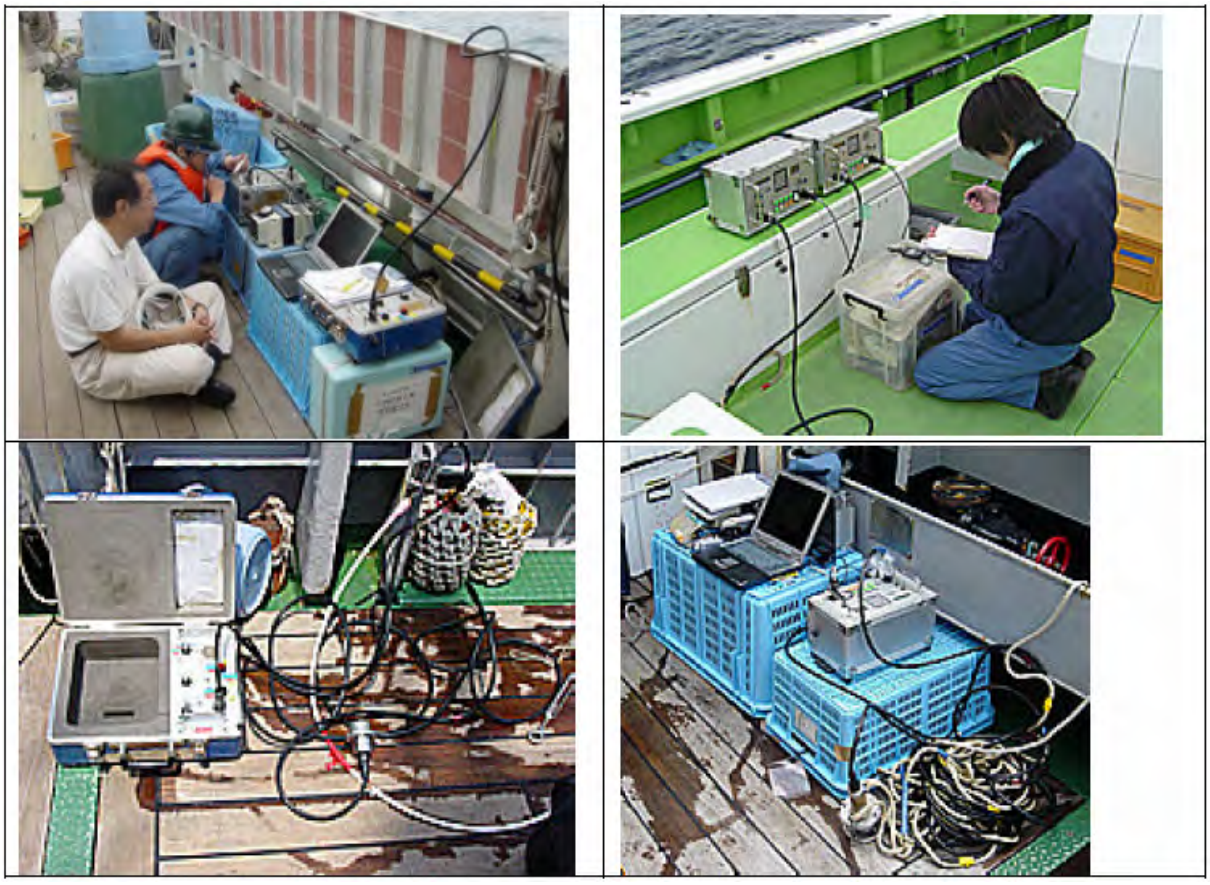


図4.1.26 遊漁船・研究調査船に持ち込んだ音響通信装置。
写真左上：研究船淡青丸でのモニタリング風景。写真右上：遊漁船（ 写真は庄治郎丸）でのモニタリング風景。写真左下：28.5 ～ 30.7kHz 帯音響通信装置。写真右下：19.6～ 20.5 kHz 帯音響通信装置。

表 4.1.27 船上音響通信装置仕様

	19.6～ 20.5kHz 帯 音響通信装置	28.5～30.7kHz 帯 音響通信装置
形状(寸法)	335×250× 200 mm	440×370× 180 mm
重量	16.5 kg	8.5 kg
電源供給	AC 100V	単一ｱﾙｶﾘﾏﾝｶﾞﾝ電池8 本
制御方法	PC を介したﾏﾆｭｱﾙ制御、または自動制御	制御盤のボタンによるﾏﾆｭｱﾙ制御
音響信号到達距離	3000m	1000m
搭載支援船	SCOOP・遊漁船・研究調査船	遊漁船・研究調査船
受信信号の認識方法	音声、解析ｿﾌﾄによるﾃﾞｼﾞﾀﾙ表示	音声
特徴	無人制御が可能。送信信号が強いので、比較的遠隔地からもモニターが可能である。その一方、至近距離では音響が乱反射するので送受信率が低下する。	近距離からのモニターに向いている。内蔵電源なので、全ての船舶で利用できる。コマンドの送信スピードを3選択出来、送受信確率が極めて高い。
受信データ例 (簡易解説)	0724084728 #W,01,00 (7 月24 日08 47 分にSCOOP が水中自動昇降装置へ状況確認指令送信) 0724084728 OK (送信正常) 0724084742 %W,00,00 (水中自動昇降装置がSCOOP へ各ｾﾝｻｰOFF 状態を返信) 0724094430 %R,02,00(水中自動昇降装置が計測ﾌﾞｲへﾛｰﾌﾟをなし繰り出す旨を送信) 0724094451 #D,00,14(計測ﾌﾞｲが水中自動昇降装置を介して、支援船に現在水深14m に居ることを報告) 0724094509 #D,00,15(同様に水深15m に居ることを報告) 0724134448 %R,02,00(2004/07/24 SCOOP 受信ﾃﾞｰﾀより)	なし

4.1.4.2 相模湾運用体制

2003 年度試験運用から2004 年度の本格的な運用に移行する過程の中で、我々は将来の実運用のためのノウハウを蓄積することを心がけた。試験運用段階では、ブイからの携帯電話通信が途絶えることがしばしばあったので、その都度遊漁船をチャーターして現場に赴き音響通信でブイの動作状況を確認することを余儀なくされた。殆どすべての場合、問題は携帯電話通信の不具合であったので、経験を積み重ねて問題認識基準を明確にすることによって、効率的な運用をめざした。

遊漁船を利用した随時監視の方式ではあまりに人的な労力がかかるので、2004年7月末からの運用に当たっては無人観測艇 環ちゃん(SCOOP)を利用することを試みた。SCOOPは、無人航行をおこなうので、PC で制御できる19.6～20.5kHz 帯の音響通信装置を搭載した。音響通信装置は当初キール下に取り付けたが(図4.1.29)、船体からと思われる音響ノイズ大きかったので、船体後部のプロペラガード下から吊り下げた。これによって、良好な音響通信を実現することができた。SCOOPによるブイシステム監視の概念図を図4.1.30 に示す。

問題認識基準と運用体制：2004年03月POPPS CREST 報告会資料から

計測ブイデータ送信限界：風速10m/sec 波高2.5m

海況判断の情報源：http://weather.metoocean.co.jp，周辺の遊漁船

問題認知基準：GPS 通知装置からの通信 または データ未送信連続2日間

問題認知後の対策：

データ管理者が名古屋大学・東京海洋大学へ通達→ 現場確認の判断（ 主： 名古屋大学、副：東京海洋大学）→ SCOOP・遊漁船・研究調査船選定準備 ・・ここまで～ 1 日→ 現場調査（ 場合によって緊急回収）→ 実務者が名古屋大学・東京海洋大学へ報告・・ここまでSCOOP・遊漁船で3 ・4 日内

図4.1.28 運用体制に対する取り決め

図4.1.29 環ちゃん(SCOOP)に搭載した音響通信装置。
写真左:無人観測艇環ちゃん赤丸部分に音響通信用のトランスデューサーを据え付けてある。写真右上: 動作確認試験風景。水中自動昇降装置に搭載している音響通信機を持ち込み、空中で通信試験をおこなった。写真右下:環ちゃんに搭載した制御部(下)

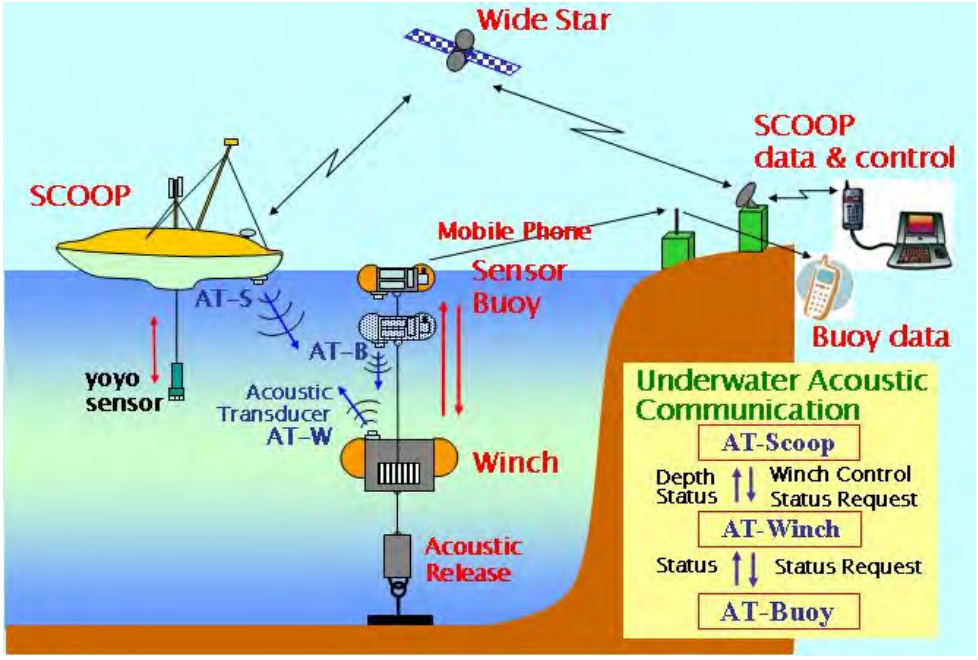


図 4.1.30「環ちゃん」による自動昇降ブイシステム監視の概念図
SCOOPは数日間に亘ってシステムが音信不通になったときに観察に行く。陸上からSCOOP へ音響信号を送信するように指令を出すと、SCOOP のMother PC から中継PC に指令が伝達され、中継PC が制御部へ対応するコマンドを送る。中継PC が管理するコマンドは表4.1.14 参照。一定時間後、ロギングした全てのデータをMother PC を介して、最終的に東海大学へ送る。送られたデータを解析することにより、システムの状態が研究室に居て、ほぼ100% 想定出来た。搭載した音響通信装置は、送受信周波数帯19.6 ～ 20.5kHz 帯。

本プロジェクトにおける相模湾での最終運用実験を 10 月 3 日より実施した。この運用に当たってはメインセンサーを新たに開発した紀本電子製の FRRF に換装し、携帯電話のアンテナ系を改良し、さらに GPS-イリジウム緊急通信系を装備した。このときの気象、海象とデータ転送の状況を図 4.1.31 に示す。

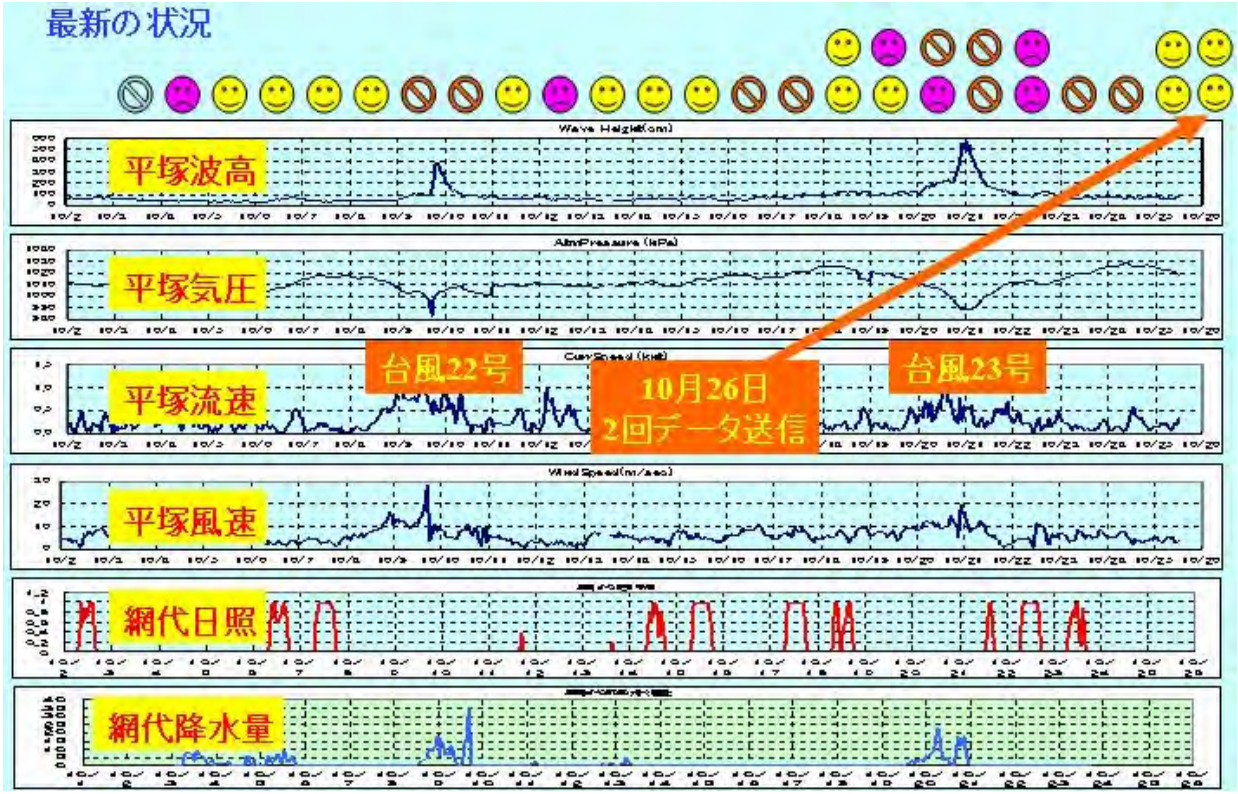


図 4.1.31　相模湾における最終運用の結果

図 4.1.31 で、ストップ印はブイ運用を行わなかったこと、黄色印はブイからのデータ伝送に成功したこと、ピンク印はデータ伝送に失敗したことを示す。今回の運用は 11 月 17 日まで行い無事回収したが、ここには 10 月 27 日の最終報告会当日に使用した PPT ファイルを示している。10 月 9,10 日の台風 22 号通過時には週末のブイ運用休止日に当たっていたので、運用スケジュールは変更しなかった。10 月 21、22 日の台風 23 号に対しては、ブイを直撃することが予想されたので、台風通過前後の 3 回の運用を取りやめた。台風通過翌日はデータ転送に失敗したものの、翌週明けにはデータが無事転送されてきた。

4.1.4.3 取得データ例

開発された水中自動昇降システムによって得られた海域データの一例を図4.1.32に示す。 このように海洋表層付近での極めて安定した光学的な計測が本システムではじめて可能になった。これは、本システムの計測では上方にまったく光を遮蔽するものが無いことと、計測時の上昇速度がおよそ毎分10mと一定であり、また計測ブイの姿勢が極めて安定していることによるもので、海洋極浅層を計測するためにふさわしい汎用のプラットフォームであることを意味している。

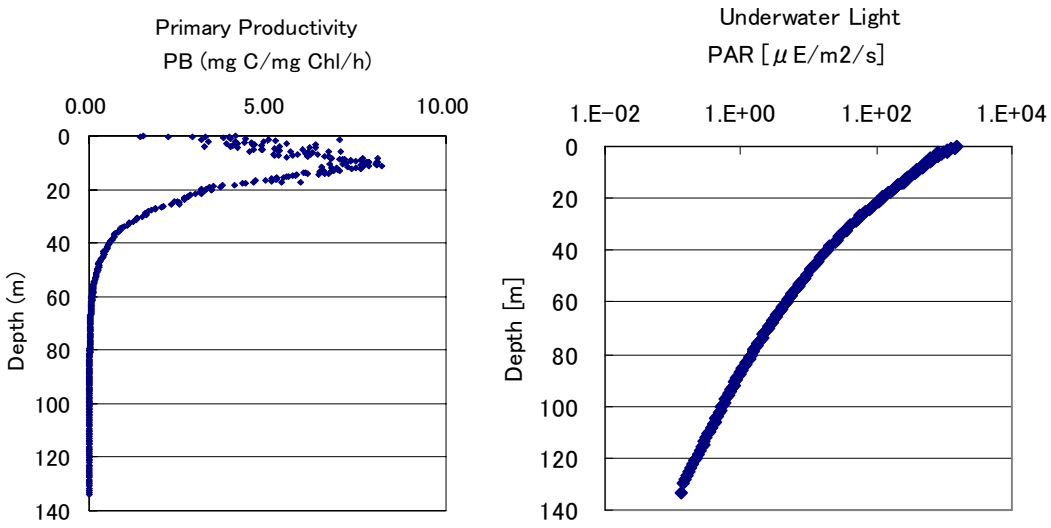


図4.1.32　水中自動昇降システムに搭載したチェルシー社FRRFによって測定された基礎生産力と水中光合成有光放射照度の鉛直分布

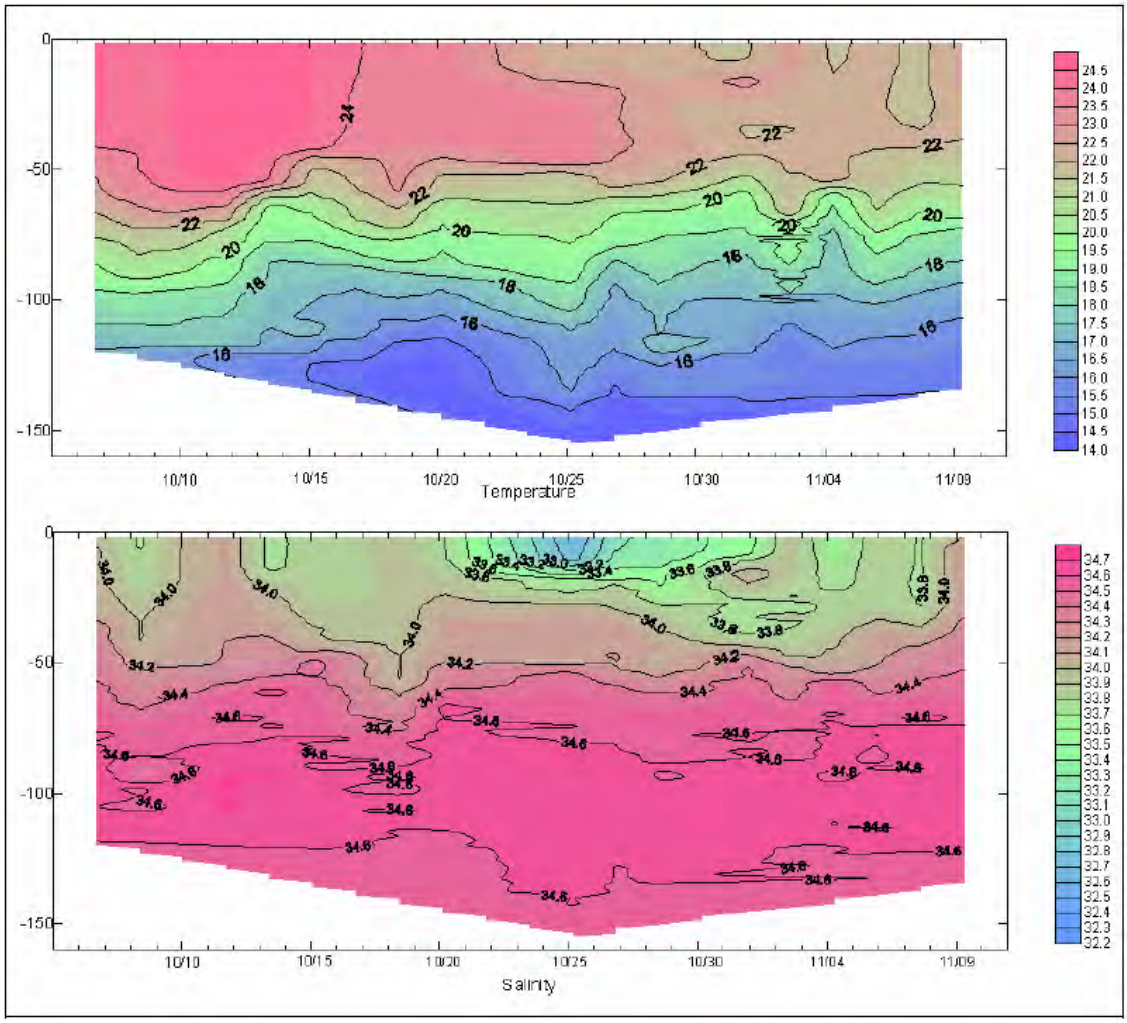


図4.1.33 2004 年10 月06 日～11 月09 日に取得した鉛直分布例
上図：温度、下図：塩分

図4.1.33は、2004年10月の最終運用実験で転送されてきた実時間計測データで作成した相模湾定点における水温と塩分の深度分布の時間断面図である。10月25日に深度分布が150mまで達しているが、これは水深1450mの地点に設置された水中自動昇降装置が海中の流れの影響を受けて係留索が傾いたため、設置当初の120mから150mまで沈降したものと考えられる。10月10日の台風22号の通過により表層混合層が50m程度に達している。また、10月21日の台風23号の際には通過前の20日に表層の混合が起こり、通過後に塩分が低下したことがわかる。またこれ以降表層水温が徐々に低下している。残念ながらこの運用時に搭載したFRRFは1週間で運用が停止してしまったが、このような台風前後で継続した観測を行える汎用プラットフォームが開発されたことは大きな意義をもっていると考えている。とくに、一台のセンサー/測器で鉛直分布を繰り返して計測できることは、多数のセンサーを用いた場合にセンサー間の校正が大問題になるのに対してそれを避けることが可能であり、使用したセンサーの時間変化の校正を行うだけでデータ全部の一貫性を保つことができるということは大きな利点である。

4.1.4.4 試験運用実績

本研究における水中自動昇降システムの海域試験の経過を表 4.1.34 に取りまとめた。

表 4.1.34 淡青丸／青鷹丸における海域実験の経過

年度	期間	実施場所	試験内容	結果	対処・追記など
2001	6月	青鷹丸/S3	吊下げブイ実海域初試験	2CPU化前（MCTD・FRRF：MCTD・PRR800）/上記組み合わせで海域試験を行った	・2CPU化/＊港湾技研水槽試験
	7月	計測ブイ／昇降装置の社内試験：計測ブイ CPU 改造（2CPU 化）			
	8月				
	9月	淡青丸/S3	短期係留昇降試験	一体型ラッチにて、8回の昇降に成功：計測ブイデータ未取得（メモリカード緩）	・計測ブイに深度・水温計の取り付け/・ラッチ機構形状検討
	10月	青鷹丸/S3	短期係留昇降試験	計測ブイデータ取得成功 ラッチの不具合により計測ブイ昇降せず流れの影響により係留系沈降	・ラッチ部の検討・熟成/・係留系構成要素の検討
	11月	計測ブイ／昇降装置の社内試験　係留系構成要素の検討			
	12月	青鷹丸/S3	係留系の挙動解析	係留期間中、70m 程度の沈降が見られた/→計測機器損傷の恐れ	・係留系構成要素の変更/→5連ガラス球の追加
2002	1月				
	2月	青鷹丸/S3	係留系の挙動解析/分離型ラッチ（模擬的）	5連ガラス球を追加しての係留試験/今回の係留で観測された最大流速は前回の倍/係留系の沈降深度は前回と同程度/→構成要素変更効果有	・係留系構成要素問題なし/・計測ブイ形状問題なし/　(Pitch,Roll など)/＊港湾技研水槽試験（1月・3月）
	3月				
	4月				
	5月				
	6月	淡青丸/S3	短期係留昇降試験/（分離型ラッチ）	設置時、ラッチがはずれる　一旦回収/設置成功→昇降動作開始・・海面直下でブイ停止/船のスクリューにて**計測ブイ大破**/昇降装置に**流れ藻絡まる**（回収後、判明）	・流れ藻対策/・設置方法検討（重錘軽減など）
	7月	青鷹丸/S3	短期係留昇降試験	設置失敗/ラッチが外れてしまった	・昇降装置のハード的な改造を検討/　**（S型切離装置を搭載）**
	H14 8月	青鷹丸/S3	短期係留昇降試験/（S型切離装置搭載）	**設置成功！**/35回の昇降に成功！	・昇降装置海域試験熟成/・S型切離装置組み込み
	9月	淡青丸/S3	短期係留昇降試験/E-moni 伝送試験	**63回の昇降に成功！**/現場法係留系にE-moni 取り付け→データ伝送成功	・CREST システムに E-moni 組み込み/・計測ブイ昇降中の姿勢 OK
2002	10月	青鷹丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間;約1ヶ月）	合計33回の昇降に成功/試験後半、**テンショナーが磨耗**　不動作	・テンショナー等消耗品の選定
	11月				
	12月	青鷹丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間;約1ヶ月）	合計46回の昇降に成功　**ラッチ部に異物**/→リトライ動作多数　BATT 枯渇	・水中ビデオにて異物確認
2003	H15 1月				

	2月				＊港湾技研水槽試験
	3月				
	4月	青鷹丸/S3	トラップ係留系掃海		
	5月	淡青丸/S3	測器フル実装係留昇降	計測ブイにて FRRF 鉛直データ取得成功/計測ブイ誤動作（原因；内部ソフト）/現場法係留系、強流にて沈降→オーブコム水没	・計測ブイ内部ソフト変更/・今回の係留ではデータ伝送×
	6月	青鷹丸/S3	短期係留昇降試験	搭載測器 MCTD のみであったが、**実海域で初めてデータ伝送に成功**した	・昇降装置内部ソフト変更/・データ伝送率 75%
	7月	青鷹丸/S3	短期係留昇降試験	搭載測器 MCTD のみ/データ伝送 7 回／8 回昇降　87.5%/（昇降装置内部ソフト変更済）	・設置時、ブイ-昇降装置ロープ絡まる/→設置方法検討/・次回、計測機器フル実装で海域昇降試験
	8月	淡青丸/S3	短期係留昇降試験	計測機器フル実装で係留/データ伝送 15 回：28 回昇降中 54%/データ量 20～25k（圧縮）	**・フル実装で初めて一連の動作に成功/**・FRRF データを 95%以上圧縮に成功/→データ伝送率の向上
	9月	青鷹丸/S3	オーブコム海域試験	GPS データ伝送 1 回／9 回昇降	・GPS データ伝送再試験
	10月	海洋大ポンド	オーブコムデータ伝送試験	浮力 8kg；56%/浮力 4kg；25%/陸上；63%のデータ伝送率であった	・GPS データ伝送率の向上 ・オーブコム以外の通信方法検討
	11月	青鷹丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間；約 1 ヶ月）	1 日/2 回昇降　データ伝送も含め順調に動作/設定変更メール送信後、計測ブイ不動作	・内部ソフトの変更
	12月				
2004	1月	内部ソフト変更／イリジウム検討／社内試験など			
	2月	青鷹丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間;約1ヶ月）	荒天の影響で計測ブイ海面浮遊/ 2/28　庄治郎丸にてブイ確認作業	・緊急時の対応模擬/・昇降装置パワー不足
	3月				
	4月	淡青丸：S3/青鷹丸：S3	準長期海域昇降試験/（試験期間;約1ヶ月）	データ伝送 9 回／50 回昇降中 24%/昇降動作は順調だが、データ伝送率が低い	・データ伝送率の向上/ アンテナの交換など
	5月				
	6月	淡青丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間；約 1 ヶ月半）	航海期間中、データ伝送 2 回/33 回中 6%	・データ伝送率の向上/・ブースター取り付け検討
	7月	イリジウム GPS 作製／ブースター組み込み／紀本 FRRF 搭載			
	8月	淡青丸/S3	係留系回収／再設置	係留中、**71 回の昇降（過去最多）**/→昇降装置モーターBATT 枯渇/紀本 FRRF データ取得成功/ブースター取り付けに伴うデータ伝送率の向上/計測ブイ流失　**イリジウム GPS 作動→無事に回収**	**・初物 3 つ全て成果を上げた**/・システムメンテナンスの再確認/・紀本機・ブースター取り付け・長期係留に伴う BATT 容量検討
2004	10月	青鷹丸/S3	準長期海域昇降試験/（試験期間；約 1 ヶ月半）		

4.1.5 現状と課題

現在のシステムでは通信手段として携帯電話（DoPa)を利用しているために、外洋に展開することはできない。最近になってイリジウム衛星通信が利用可能であることが判ったので、将来的にはイリジウム携帯電話を利用することを考えている。その準備もかねて本年８月に非常用通信手段としてブイ浮上時に GPS の測位データをイリジウム通信で伝送するシステムを取り付けたところ、偶然にもブイが流出するという事故が起こり、その安定した通信能力を確かめることができた。

現在の計測ブイは当初分光放射計を搭載したために横長の形状となっている。このため、昇降時の姿勢の安定性は優れているが、速度が遅いために海面近くの流れの影響を受けやすい。特に荒天時に海表面でのデータ転送に手間取ると海面上を流されて昇降装置の巻き込みに支障をきたすことが多かった。これが我々のブイシステムの対候性を低くする大きな要因となっていた。後述のようにメインセ

ンサーである高速フラッシュ励起蛍光光度計を自作することによって、迅速な測定を行い、さらにデータ処理を測器内で行い伝送データ量を低減することが可能になったので、浮上速度を増し、データ転送時間を低下させることも可能になった。さらに分光放射計を割愛すれば横長の形状を維持する必要は無いので、計測ブイを水中の抵抗が少ない縦型の形状に変えることができる。これによって著しく計測システムの対候性を増すことが期待できる。

本システムは水深1500mの相模湾定点において試験係留をくりかえしてきた。現在のところ自動昇降装置(水中ウインチ)を130-150の深度に再現性良く設置する技術は取得できたものの、将来の外洋への展開を考えると水深6000mレベルでの係留技術を開発することが不可欠である。

また、現在米国NSFの支援で実施中のNeptune計画では、海底より立ち上げた計測器を海底ケーブルによってネットワーク化することを目指しているが、本システムの水中ウインチに海底ケーブル線によって電力を供給し、計測データを回収伝送することが可能になれば、沿岸域でのモニタリングシステムとして長期の運用が可能になる。

4.1.6 今後期待される効果

本研究によって開発された自動昇降ブイシステムは光学観測に特化しているものの、浅海用の海洋観測プラットフォームとしての汎用性を持っている。このような海洋表層まで計測できる昇降式のプラットフォームは世界的にも数少ないものであって、次のような利点を持っている:1)計測器が一台で済むためシステム自体が安価になる。2)海洋ごく表層近くまで海面上に何の遮蔽物、構造物も存在しない状態での計測が可能である。3)時系列の鉛直分布の情報が得られる。4)海面に浮上したときにイリジウム等の衛星通信によってデータを転送することができるので、リアルタイムデータが取得できる。5)観測時以外は暗所にあるため生物付着が少ない、また静穏な場所にあるため測器の安全が保たれる。これらのうち特に2)と3)が可能になることによって大気・海洋の相互作用の研究にブレークスルーをもたらすことが期待できる。

最終年度には、本自動昇降ブイシステムの外部評価をかねて、2004年3月のOceanology International(ロンドン)や、2004年11月のTechno Ocean'04 (神戸)の二つの世界有数の国際展示会に出展し、大きな反響を得た(図4.1.35)。

図 4.1.35 Oceans/Techno Ocean(神戸)展示会風景:
才野(プロジェクトリーダー) は、半日しか参加出来なかったが、才野とテクニカルなDiscussion をする目的で、Neptune 計画の技術担当であるWashington 大学のTim McGinnes氏が2日間待っていた。その他、JAMSTEC、KORDI、IFREBER、ロンドンの展示会ではSOCやUniv. Bremen 等、各国研究機関からシステムに関する熱心な問い合わせがあった。

海洋における自動観測の技術に関しても、近年種々の進展が見られている。ブイに関しても、ATLAS/TRITONブイに見られるような、外洋の表層係留ブイが実用化されており、また、沿岸域においても各種のセンサーをとりつけた多数の係留系を光ファイバーで結びつけて、実時間運用をする試みが米国の各地で実用化されている。本研究で行っているような、センサーを昇降して鉛直分布を得ようとする試みは比較的すくない。米国Puget Soundではワシントン大学のグループが海底に設置した三脚を海面まで立ち上げ、センサーを昇降するシステムを運用している。同様のシステムは既にJAMSTECでも作られているが、実用にはいたらなかった。図4.1.36 に最近の各国での自動昇降式計測装置の開発品を示す。ITC 社製VPS は、カタログ仕様では我々の装置仕様に近いが、実績の点では上下1プロファイルしか存在しない。また、供給電源も大型であり、実用にはまだ時間が掛かるものと推測される。また、McLane 社製MMP は、係留期間での鉛直プロファイル取得回数は、我々の装置と同程度であるが、機構的に海洋表層における昇降は出来ない。また、データの実時間伝送は考慮されておらず、生物学的データの取得も考慮されていない。ISW Wassermesstechnik 社のそれは、未だ構想段階である。

近年著しく進歩したのが、係留索を持たずに浮力の調整で海中を昇降するフロートやグライダーなどの技術である。既に ARGO システムは実用化されているが、同様のブイ（SOLO : Sounding Oceanographic Lagrangian Observer）に分光放射計や、光散乱計を取り付ける試みがなされている。前者は日本海においての試験で表層の植物プランクトンのブルームを検出することに成功し、後者は複屈折センサーを取り付けることによって、有機態と無機態の粒状炭素をわけて検出することにも成功した。グライダーは現在 Wasington 大グループによって開発された SeaGlider と Web Research Co.によって開発された Slocum AUVG がある。これは昇降に浮力を用いることによって、消費電力の節約を図っており、半年以上の運用を目指している。航行は内蔵コンピュータによる推測航法で行い、長距離の断面観測または、ある地点付近にとどまり、時系列の昇降観測のモードで運用することが可能である。

本研究で開発した水中ウインチシステムは、係留索によるセンサーの昇降をおこなうが、現行の他の昇降システムがロープを強い張力で保持するのに比べて、センサーをほぼ水の流れに任せる点ではフロートやグライダーに近いものである。しかし、フロートやグライダーが最終的に測器を回収することを目標としないので、小型の専用センサーを装備するのに対し、我々の昇降計測ブイでは測器を最終的に回収することを目指している。このため、計測ブイの各センサーの制御には汎用の制御系を用いており、研究目的に応じて必要なセンサーを容易に搭載することが可能である。我々のシステムはフロートやグライダーと同じくセンサーの上方に何も障害物を持たないので、海洋の基礎生産のみならず、海洋表層の物理・化学・生物過程を研究するための理想的なプラットフォームとして用いることが期待される。

フロートやグライダーが海水中の鉛直断面を測定することを主な目的としているのに対して、我々のシステムは衛星データを検証するために、ある定点における時系列の計測を目的としている。したがって、全球への展開をはかるためには十分な数のブイシステムを運用する必要があるので、我々は小型・安価・大量をメインコンセプトに開発を進めた。この一環として、次節に述べるように主センサーであるFRRFを自作し、小型化する作業も進めた。フロートやグライダーも小型・安価・大量のコンセプトに基づいており、Globalスケールで海水中の鉛直断面を得るための有力な装置と期待されている。本研究で開発した小型FRRFをこれらに搭載することも可能と思われる。現在地球環境変化の監視という観点では生物・化学的パラメータの高時間分解能でしかも長期間の計測が緊急の課題となっており、我々の開発は時宜を得たものと自負している。

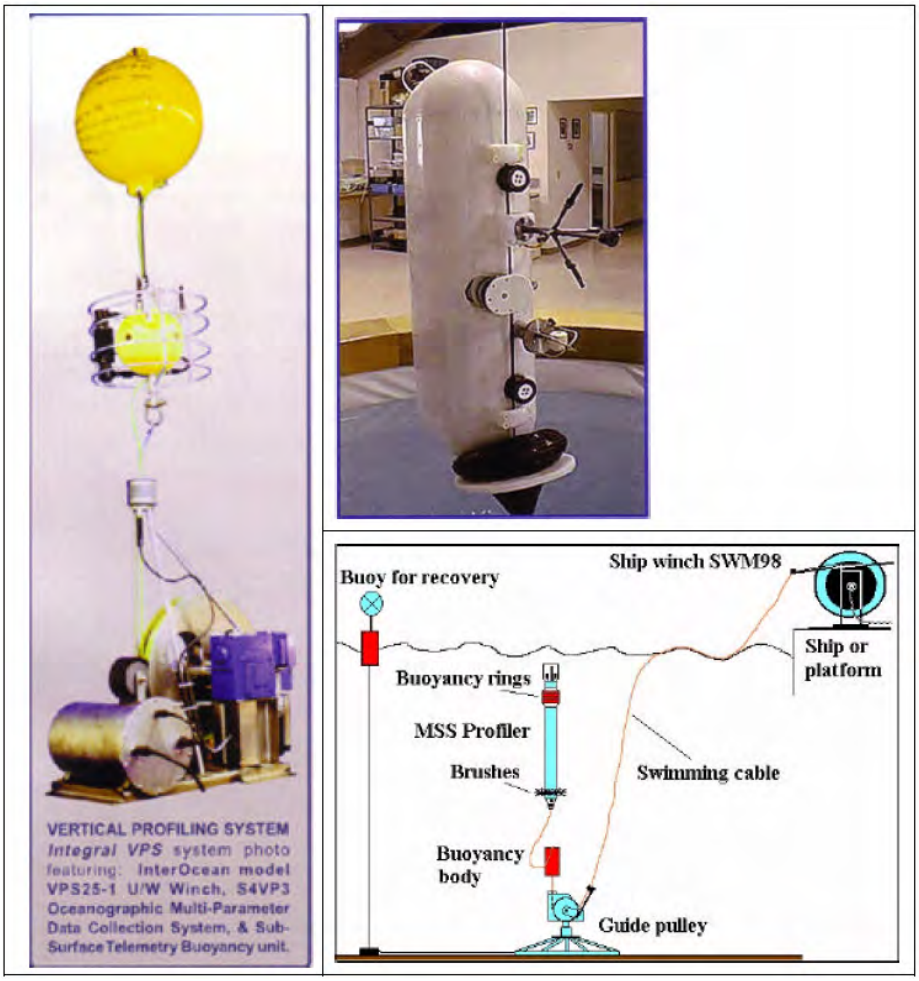


図4.1.36 各国での類似システム開発状況

写真左：Inter Ocean System 社（ San Diego 在）製のVPS。水深300m まで対応。実績取得鉛直プロファイル1 回のみ。供給電源48VDC。写真右上：McLane 社製のMMP。実績は相当あるようだが、30m 以浅では使用できない。図右下：ISW Wassermesstechnik 社構想のプロファイリング装置。

4.1.7 謝辞

本開発においては独立行政法人航空港湾技術研究所の水槽を借用して実施した水槽試験が大きな意味を持っている。また、海域試験においては東京海洋大学青鷹丸、海洋開発研究機構淡青丸の船長、乗組員各位の熟練した作業が無ければ成功はおぼつかなかった。関係者各位に感謝いたします。

4.2 高速フラッシュ励起蛍光光度計の開発

4.2.1 開発の目標

高速フラッシュ励起蛍光光度計（Fast Repetition Rate Fluorometer、以下、FRRF）は、米国のZbigniew S. Kolber、 Paul G. Falkowski らによって開発された（Kolber et al. 1998 [1]）。これは、海水中に浮遊する植物プランクトンに対して青色光を高速で点滅照射を繰り返し、これによって得られた蛍光の時間的変動を捉えることにより、海洋の基礎生産を調べることが出来る装置である。市販の装置は、大きく取り扱いにくく、また、校正方法や演算方法についての情報が十分開示されていない。また、リアルタイムでは基礎生産量を計算することができないために本研究で用いる主センサーとしてふさわしいとは言えない状態であった。そこで、本研究において新たに FRRF を開発することにした。

本研究開発では、FRRF を「リアルタイムで現場の基礎生産量を計算し陸上局にデータを転送すること」、「装置を小型・軽量化し、自動昇降ブイシステムに搭載可能にするとともに、ブイシステムへの負担を少なくすること」、「装置の性能向上と高精度化すること」、「校正、演算方法を確立すること」、さらに、「安価な装置にし、様々な観測に応用できるようにすること」を目的とした。

4.2.2 FRRF の理論

FRRF法は、励起光の 1 連の高速パルス光シーケンスによって生じる蛍光強度の変動を測定している。ここで、パルスの強度、時間、間隔をそれぞれ独立して制御することにより、光合成の電子伝達系における第一電子授与体Q_Aとプラストキノンプール（PQ）の還元反応を調べることができ、これら二つの電子受容体の還元状態の変化にともなう蛍光強度の変化を測定することができる。FRR 法はまた、PSⅡの”single photochemical turnover”における蛍光遷移速度から単一の PSⅡ反応中心のσ_{PSII}と 複数のPSⅡ反応中心間のエネルギー移動を求めることができる。一連のシーケンスで時間 t において測定された蛍光強度 f(t)は、蛍光強度の最小値 Fo、最大値 Fm、および閉じている PSⅡ反応中心の割合 C(t)によって表現される。もし複数の PSⅡ反応中心に励起エネルギーが分配されているならば、PSⅡから発する蛍光の強度は反応中心間エネルギー転移の割合 p にも依存する。

$$f(t) = F_o + (F_m - F_o)\left(C(t)\frac{1-p}{1-C(t)p}\right) \qquad \text{式(1)}$$

式 1 は開いた RCⅡs の割合、$q(t)=1 - C(t)$を用いても表現することができる。$C(t)$は、入射した励起エネルギーI、有効光吸収断面積σ_{PSII}、そしてQ_A^-の再酸化速度の積に比例する初期光化学反応速度によって制御される。初期光化学反応速度による C(t)の変化は以下のように記述される。

$$\frac{\partial C(t)}{\partial I} = \sigma_{PSII}\frac{1-C(t)}{1-C(t)p} \qquad \text{式(2)}$$

Q_A^-の再酸化を無視した時（励起がシングルターンオーバーの状態で起こっていると考えられる場合）、式2は式3のように単純化できる。

$$\frac{dC(t)}{d\mathrm{I}} = \sigma_{PSII}\frac{dI1-C(t)}{dt1-C(t)p} = \sigma_{PSII}i(t)\frac{1-C(t)}{1-C(t)p} \qquad \text{式(3)}$$

ここで、i(t)は励起光強度を示している。式3を積分することによって C(t)は式4として表現できる。

$$C(t)=\int_0^t \sigma_{PSII} i(\upsilon)\frac{1-C(\upsilon)}{1-C(\upsilon)p}d\upsilon \qquad \text{式(4)}$$

ここでυは積分変数であり、C(υ=0)はFRRで励起する以前に閉じていたPSⅡ反応中心の割合である。いまRCⅡへの励起伝達速度(ι(t)とσ $_{PSⅡ}$の積)が Q_A^-の再酸化速度に比べ非常に大きい場合には、式1に式4を代入することによって蛍光遷移過程f(t)を計算できる。このような状態はPSIIを非常に強い励起光を用いてシングルターンオーバー状態で励起するか、もしくはDCMUのような阻害剤によって Q_A^-の再酸化が抑制したときに実現できる。一般的に、Q_A^-の再酸化を無視できない場合にはそれを g(t－υ)とおいて式5のように修正する。

$$C(t)=\int_0^t \sigma_{PSII} i(\upsilon)\frac{1-C(\upsilon)}{1-C(\upsilon)}g(t-\upsilon)d\upsilon \qquad \text{式(5)}$$

ここで g(t－υ)は Q_A^-の再酸化速度を示し、次の指数関数の和として表現される。

$$g(t-\upsilon)=g(\Delta t)=\alpha_1\exp(-\Delta t/\tau_1)+\alpha_2\exp(-\Delta t/\tau_2)+\alpha_3\exp(-\Delta t/\tau_3) \qquad \text{式(6)}$$

式4と5を解析的に解く方法はないが、光合成パラメータ(Fo, Fm, σ $_{PSⅡ}$, p, α_1, α_2, α_3, τ_1, τ_2, τ_3)は、式(1)を離散変数で表現した式(7)で表現し、測定された蛍光遷移過程を、算術的にフィッティングすることにより求めることができる。

$$f_n=F_o+(F_m-F_o)\left(C_n\frac{1-p}{1-C_np}\right) \qquad \text{式(7)}$$

ここで f_nは n番目のフラッシュで励起された蛍光の強度、Cnは n番目のフラッシュで閉じられたRCIIの割合である。Cnはまた再帰的に次の式(8)で表現される。

$$C_n=C_{n-1}\sum_{k=1}^{m}A_{n,k}+I_n\sigma_{PS\,II}\frac{1-\left(C_{n-1}\sum_{k=1}^{m}A_{n,k}\right)}{1-p\left(C_{n-1}\sum_{k=1}^{m}A_{n,k}\right)} \qquad \text{式(8)}$$

なお、Inはn番目のフラッシュによって供給される励起エネルギー強度、mは式(6)における指数関数成分の数である。An,kは Q_A^-の再酸化過程のキネティックスから次の式(9)を使って求められる。

$$A_{n,k}=(A_{n-1,k}+C_{n-1}\alpha_k/\sigma_{PS\,II})\exp(-\Delta t/\tau_k) \qquad \text{式(9)}$$

実際的には Q_A^-の再酸化過程のキネティックス(すなわち強度α_k, および時定数τ_k)を飽和過程の測定では一定と仮定している。Q_A^-の再酸化に関しては緩和過程での測定結果をFo, Fm, σ $_{PSⅡ}$, pを一定にしておいて強度α_k, および時定数τ_kを変えて数値解析を繰り返すことによってより正確に求めることが可能である。

Q_A^-の再酸化が無視できるとすると、式(1)と式(4)を組み合わせて式(10)が得られる。

$$C(t)=\sigma_{PS\,II}\int_0^t i(\upsilon)\frac{F_m-f(\upsilon)}{F_m-F_o}d\upsilon=\sigma_{PS\,II}\int_0^t [i(\upsilon)q_p(\upsilon)]d\upsilon \qquad \text{式(10)}$$

ここで、$q_p(t)=[Fm-f(t)]/[Fm-Fo]$は光化学反応によって使われるエネルギー（フォトケミカルクエンチング）である。もしもエネルギー転移が起こらない場合には（p＝0），$q_p=q=1-C$ である。実際に光合成に使われた光の吸収に相当する有効光吸収断面積は

$$\sigma_{PS\ II} = \left[\int_0^{\infty} [i(\upsilon)q_p(\upsilon)]d\upsilon\right]^{-1} \quad \text{式(11)}$$

または、離散変数形式で式(12)のように

$$\sigma_{PS\ II} = \left[\sum_{i=0}^{N}(I_n q_{p,n})\right]^{-1} \quad \text{式(12)}$$

表現することができる。ただし Nは計測された蛍光強度が最大値 Fmに達したときのフラッシュ番号、q_p,n は n 番目のフラッシュで計測されたフォトケミカルクエンチングである。式(12)は式(7-9)を使った反復計算法によって光合成パラメータを求めるときのσ_{PSII}の初期値を推定するために用いられる。

σ_{PSII}は PSII が光化学反応に使う最大の光利用効率を表現するパラメータで、A^2/quanta の単位で、

$$\sigma_{PS\ II} = \frac{\partial C}{\partial I}|_{C=0} \quad \text{式(13)}$$

と表現される。$\sigma_{PS\ II}$自体は光の吸収と反応中心における光化学系の量子収率によって変動する。一方照射された光の強度 I と吸収された励起エネルギーEa の関係を考慮すると、

$$\sigma_{PS\ II} = \frac{\partial E_a}{\partial I}\frac{\partial C}{\partial E_a}|_{C=0} = a_{PS\ II}\Phi_{PS\ II}^{max} \quad \text{式(14)}$$

ここで a_{psII} は PSII の光学的光吸収断面積であり、$\Phi_{PS\ II}^{max}$ は PSII の光化学反応の最大の量子収率である。このことは、$\Phi_{PS\ II}^{max}$が FRRF などによる可変蛍光の測定と光合成反応中心の間のエネルギー転移の度合いから見積もることができれば、光学的光吸収断面積が FRRF によって測定されるパラメータ Fo, Fm, $\sigma_{PS\ II}$, p から計算できることを意味している。ただし、σ_{psII}と a_{psII}の双方とも波長依存性を持っているので注意が必要である。

Q_A^-が定常状態（$C=1-q$＝constant)にある場合には、Q_A^-の再酸化速度は励起エネルギーの捕集速度と釣り合っている。式(3)は定常状態の場合 i_0を照射光強度、$\tau_{QA}(i_0)$を照射光強度に依存した平均的な Q_A^-の再酸化の時定数、$q(i_0)$を定常状態において開いている反応中心の割合として、次の式(15)で表現することができる。

$$\sigma_{PS\ II}i_o\frac{q(i_o)}{(1-p)+pq(i_o)} = [1-q(i_o)]\frac{1}{\tau_{QA}(i_o)} \quad \text{式(15)}$$

式(15)を変形することによって、$q(i_0)$は

$$q(i_o) = \frac{\sigma'_{PS\ II}(i_o)i_o}{\sigma'_{PS\ II}(i_o)i_o + \frac{1}{\tau_{Q_A}}} \quad \text{式(16)}$$

で求めることができる。ここで、

$$\sigma'_{PS\,II}(i_o) = \frac{\sigma_{PS\,II}}{(1-p) + pq(i_o)}$$ 式(17)

は、中程度の照射光下で起こる PSII 反応中心間の励起エネルギー転移によって引き起こされる有効光吸収断面積の増大を表している。

4.2.3 水中現場型 FRRF の開発

現場型の FRRF は太陽光の下での植物プランクトンの蛍光を測定する明室と、太陽光が遮光された状態での植物プランクトンの蛍光を測定する暗室を備えており、装置を海中に吊下し、各深度における現場の光条件下における明室、暗室中の植物プランクトン細胞に高速なフラッシュに対する蛍光を測定する(図 4.2.1 開発した FRRF の CG)。励起光として青色(460～500nm)で 25～30mmol quanta $m^{-2}s^{-1}$ の強度の光を用いる。蛍光の飽和過程では、フラッシュを μ 秒オーダの間隔で繰り返し(200～500kHz)、光合成電子伝達系の電子受容体(Q_A)を再酸化させること無く還元さる。繰り返して照射されるフラッシュに対する蛍光強度の増大の過程を解析することによって、光化学反応系 II の量子収率(F_v/F_m)や有効光吸収断面積(σ_{PSII})を算出する。蛍光強度が飽和に達したら、フラッシュ間隔を 50～10000 μ 秒に延ばして 10～30 回照射することによりフラッシュに対する蛍光強度が徐々に現象するので、この時間経過を解析することによって Q_A の再酸化のの時定数(τ_{QA})を求めることが出来る。また、明室・暗室の測定を比較することによって現場光条件で開いている反応中心の割合を知ることができる。これらの結果に基づいて、FRRF によってリアルタイムで現場の単位生物量当たりの基礎生産量を計算することが出来る。

図 4.2.1 開発した FRRF、*Diving Flash* と命名

図 4.2.2 は現場型 FRRF のブロック図である。太陽光下での植物プランクトンに照射される蛍光を測定する明室と、太陽光を遮光した暗室があり、各々励起光源として高輝度青色 LED を有している。各々 LED から照射される励起光は赤色カットフィルターを通過し、耐水窓を経て、海水中の植物プランクトンに照射される。植物プランクトンより生じた赤色の蛍光は、耐水窓、ミラーを経て、蛍光用バンドパスフィ

ルターで 685nm付近の光のみを光電子増倍管(PMT)で計測する。LED モニターセンサーが各々の励起 LED の強度を測定し、またあわせて深度及び光合成有効放射(PAR)も測定している。

本計測において、LED 点灯時の蛍光強度の出力を PMT_{Peak}、LED 消灯時の蛍光強度の出力を PMT_{Base}とし、LED 点灯時および消灯時の光強度モニター結果を Ref_{Peak}、および Ref_{Base} としてその差から LED 光強度を求めている。実効蛍光強度を評価するために $(PMT_{Peak} - PMT_{Base}) / (Ref_{Peak} - Ref_{Base})$ を基本的計測データとして使用する。

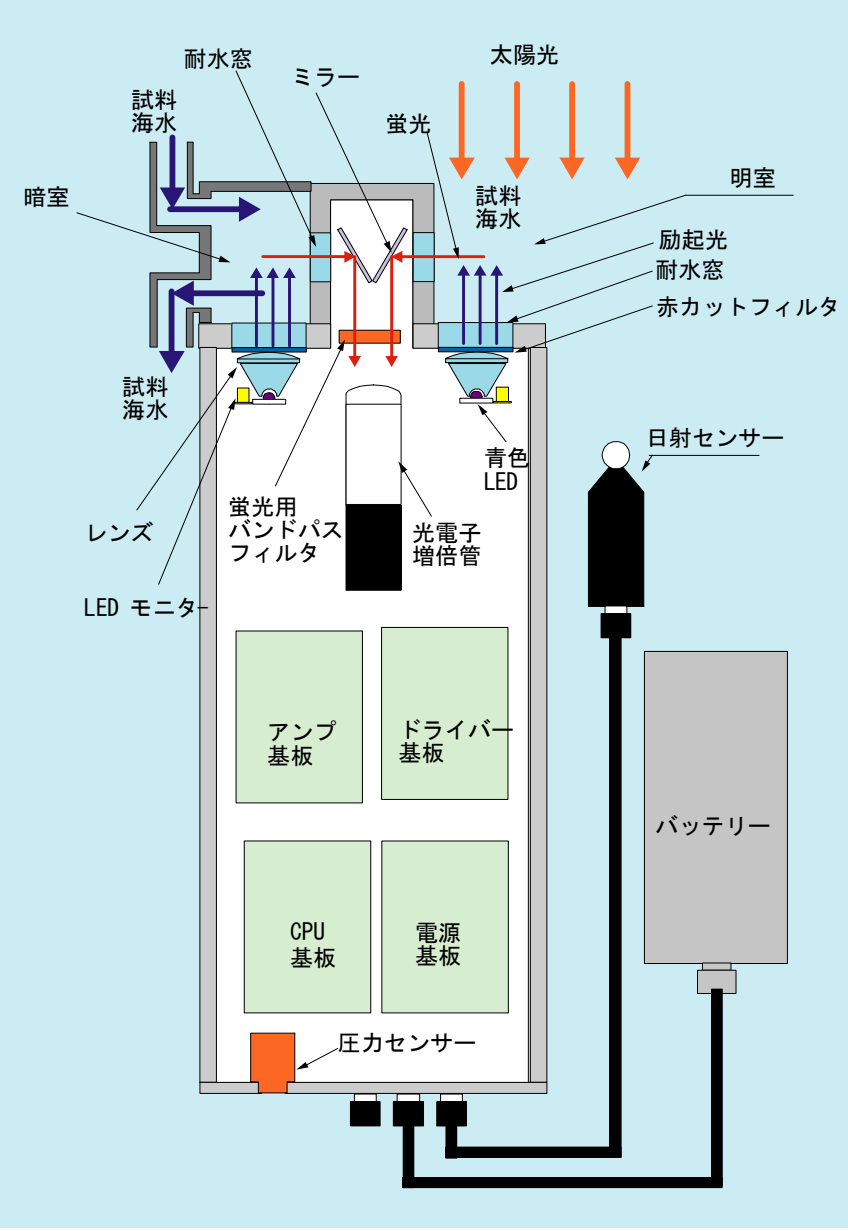


図 4.2.2 現場型 FRRF のブロック図

4.2.3.1 操作・解析ソフトウエアの開発

電子授与体 Q_A を再酸化させること無く還元させる飽和過程では、励起光は、1pulse 当たり 1～3 μ 秒の点灯と消灯を 200～500kHz で繰り返す(図 4.2.3 (A))。図 4.2.3 (B-1)のように励起光を照射した時のクロロフィルの蛍光出力例を図 4.2.3 (B-2)に示す。この時(飽和過程)、蛍光強度は増加し、約 60 μ 秒で

飽和している。緩和過程では、飽和過程の直後に、フラッシュ間隔を50～200 μ 秒間隔に伸ばして数10回繰り返し照射する。これにより Q_A の還元速度を下げて、Q_A から Q_B への電子の流れのほうが勝る状態を実現し、Q_A の再酸化の過程を解析することが出来る。一連の飽和過程、緩和過程の操作を Sequence とし、Sequence を n 回繰り返す（図 4.2.3 (C)）。

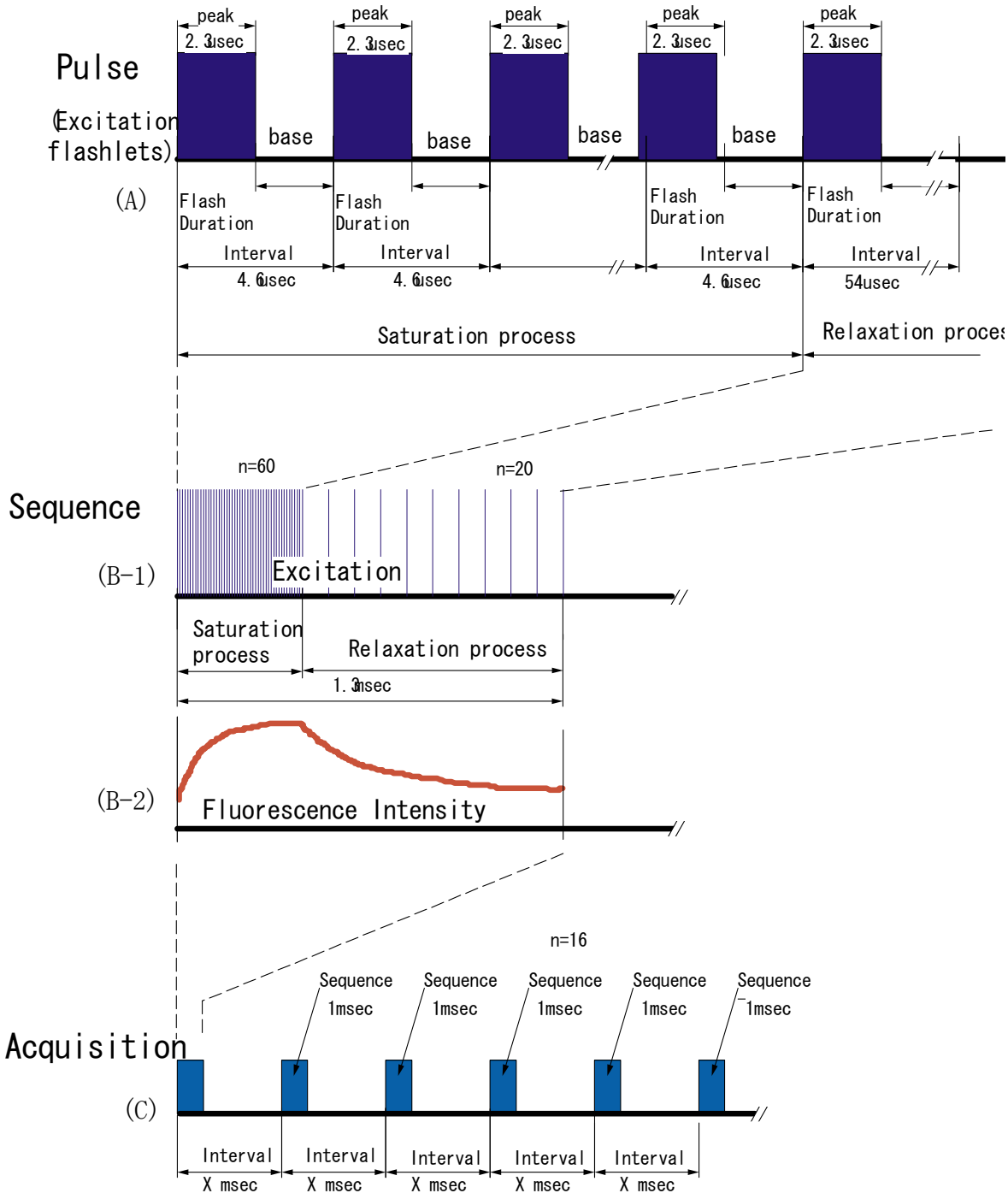


図 4.2.3 測定概念図1

このときに得られた各 pulse の PMT_{Peak}、PMT_{Base}、Ref_{Peak}、Ref_{Base} をシーケンスの回数平均化し、平均化された（PMT_{Peak} － PMT_{Base}）/（Ref_{Peak} － Ref_{Base}）を求める。この n 回繰り返しで得られたデータセットを

Acquisition とし、さらに Acquisition を繰り返し測定を行う。同様の測定を Sequence 毎もしくは Acquisition 毎に、明室、暗室交互に行うことができる(図 4.2.4(A)、(B))。

Acquisition 毎に得られたデータは、「4.2.2 FRRF の理論」で示したように算術的なフィッティングを行うことにより、明室、暗室各々の光合成パラメータ(Fo, Fm, $\sigma_{PS\,II}$, p, α_1, α_2, α_3, τ_1, τ_2, τ_3)を演算することが可能である。

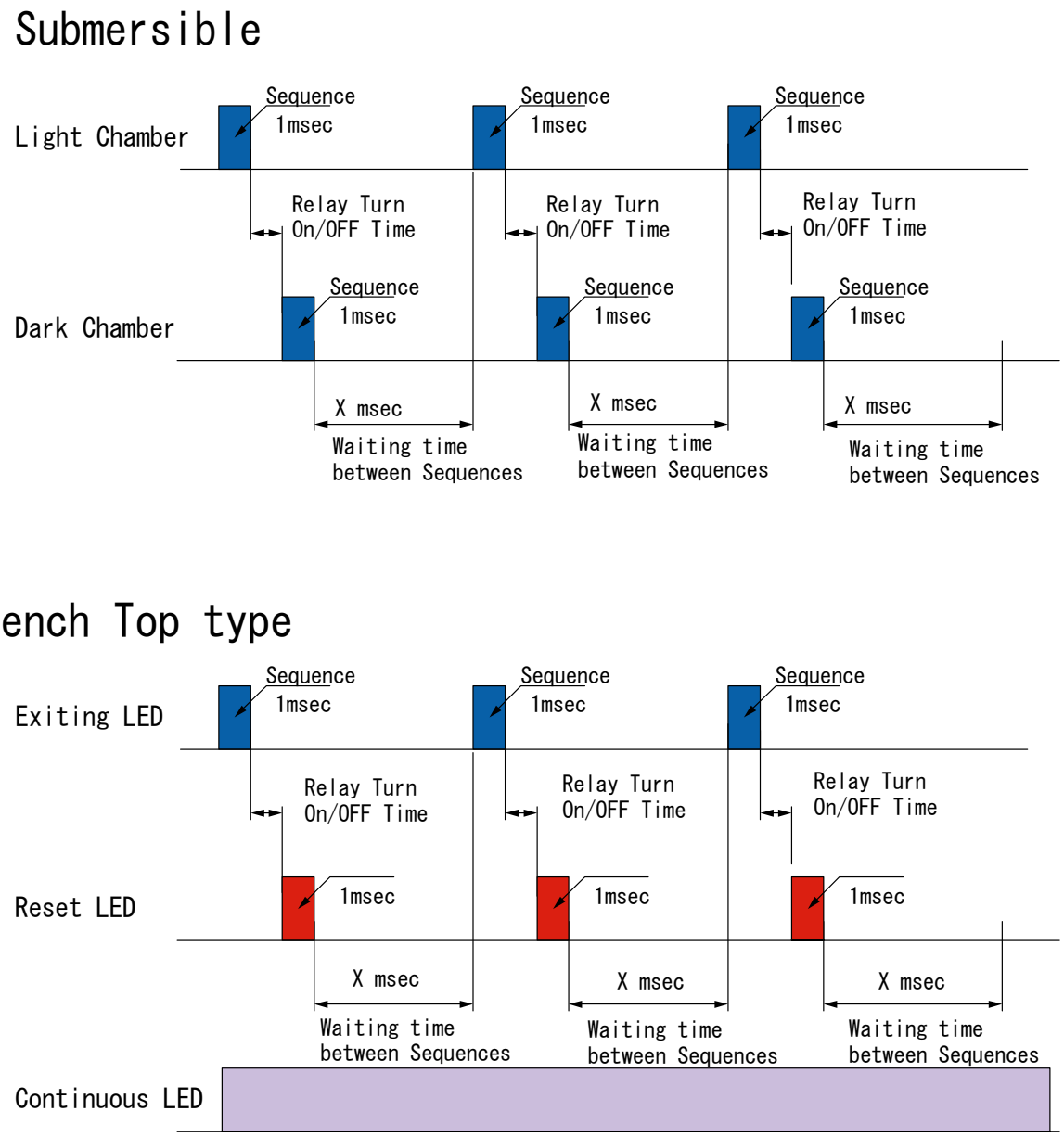


図 4.2.4 測定概念図 2

現場型 FRRF ではあらかじめ計測器内の CPU にターミナルソフトを用いて必要とされるプロトコルを入れておく必要がある(図 4.2.5)。計測器に電圧が供給されるかもしくはターミナルからの測定開始信号が送られてきた時に、設定されたプロトコルが実行され、上記の蛍光出力データが得られる。このときに、明室で得られた光合成パラメータをそれぞれ FoL, FmL, $\sigma_{PS\,II}$L, pL, α_1L, α_2L, α_3L, τ_1L, τ_2L, τ_3L, 暗室で得られた光合成パラメータをそれぞれ FoD, FmD, $\sigma_{PS\,II}$D, pD, α_1D, α_2D, α_3D, τ_1D, τ_2D, τ_3D とし

て、それらとともに、各深度において測定された光合成有効放射 PAR[quanta m^{-2} sec^{-1}]を用いて基礎生産速度 P^bO [sec^{-1}]を求めるための以下の演算を同時に行う。

基礎生産速度 P^bO は次のように計算する(Z. S. Kolber and P.G. Falkowski 1998 [2])。

$$P^bO\ [sec^{-1}] = PAR \times \sigma_{PSII}L \times Qp \times \phi e \times nPS2 \times (FvD/FmD/0.65)$$

ここで FvD = FoD − FmD、Qp= (FmD−F')/(FmD−FoD)、F'= FoD + (FmD − FoD) ×C(E)、C(E) = PAR × $\sigma_{PSII}L$ /(PAR× $\sigma_{PSII}L$ +1/ $\tau_1 L$)である。ϕe は光環境条件の違いを考慮して次のように扱われる。PAR × $\sigma_{PSII}L$ × Qp ≦ 1/ τp の時、ϕe = 0.250、PAR × $\sigma_{PSII}L$ * Qp ＞ 1/ τp の時、ϕe= 0.250/(PAR × $\sigma_{PSII}L$ ×Qp)/ τp。ただし、τp= Ek ×$\sigma_{PSII}L$、Ek = 1.204x 10^{20}[quanta m^{-2} s^{-1}]、nPS2 = 0.002)。

また、炭素同化数 P^bC には次式で換算する。

$$P^bC[hour^{-1}] = 3600 \times (P^bO/R) \times (Mc/Mchl\ a)$$

ただし、R:光合成商，Mc:炭素分子量，Mchl*a*:クロロフィル a 分子量,にはそれぞれ、R=1、Mc=12.01、Mchla=893.5 の定数を用いる。上記のように演算された P^bO、P^bC は同時に測定された PAR、深度などの項目と同時に出力がされる。

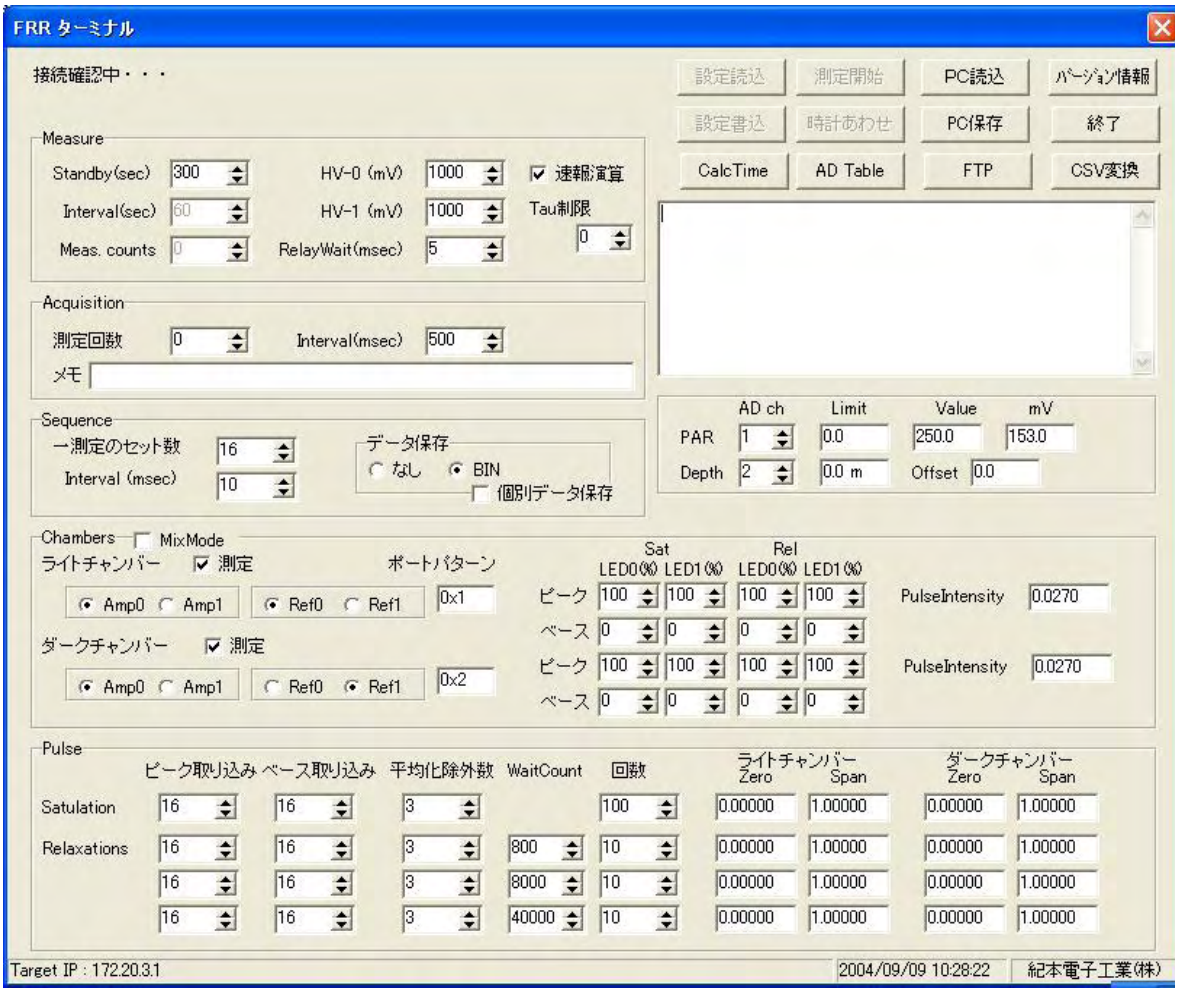


図 4.2.5 ターミナルソフト

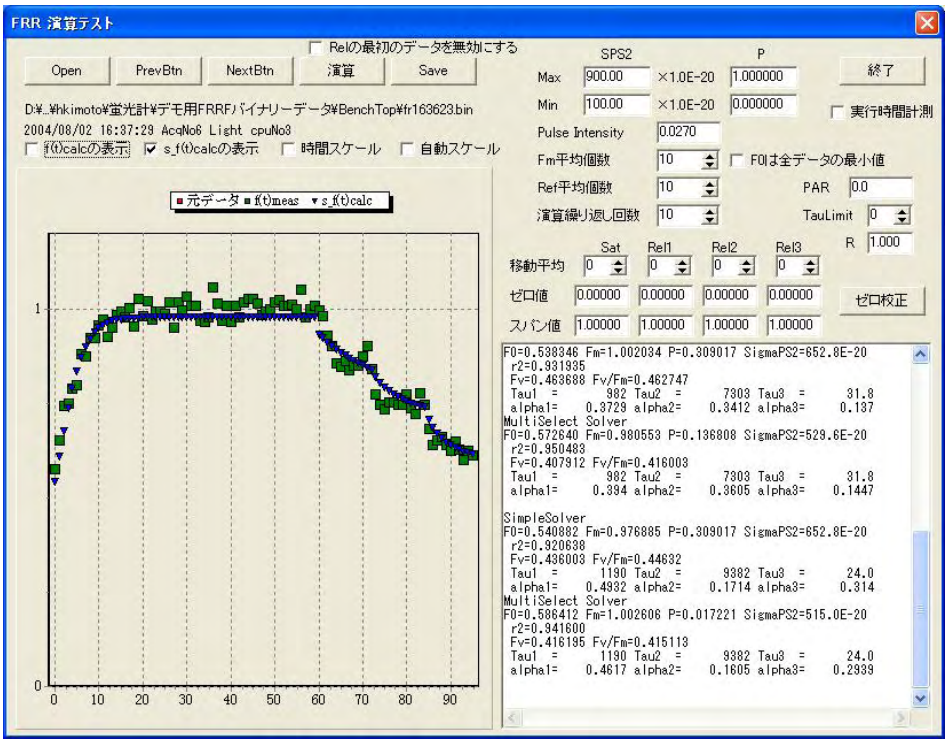


図 4.2.6 FRR Cal ソフト1

現場で得られたデータは PC とリンクさせることによってバイナリーファイルとして取り出す。バイナリーファイルは FRR Calc ソフト 1 を用いて再演算することが可能であり(図 4.2.6)。また、深度プロファイルの作成を助けるために開発された FRR Calc ソフト2を用いて光合成パラメータ(Fo, Fm, σ_{PSII}, p, α_1, α_2, α_3, τ_1, τ_2, τ_3) とそれに伴う PAR、深度などの項目を容易に CSV テキストファイル化することを可能である(図 4.2.7)。

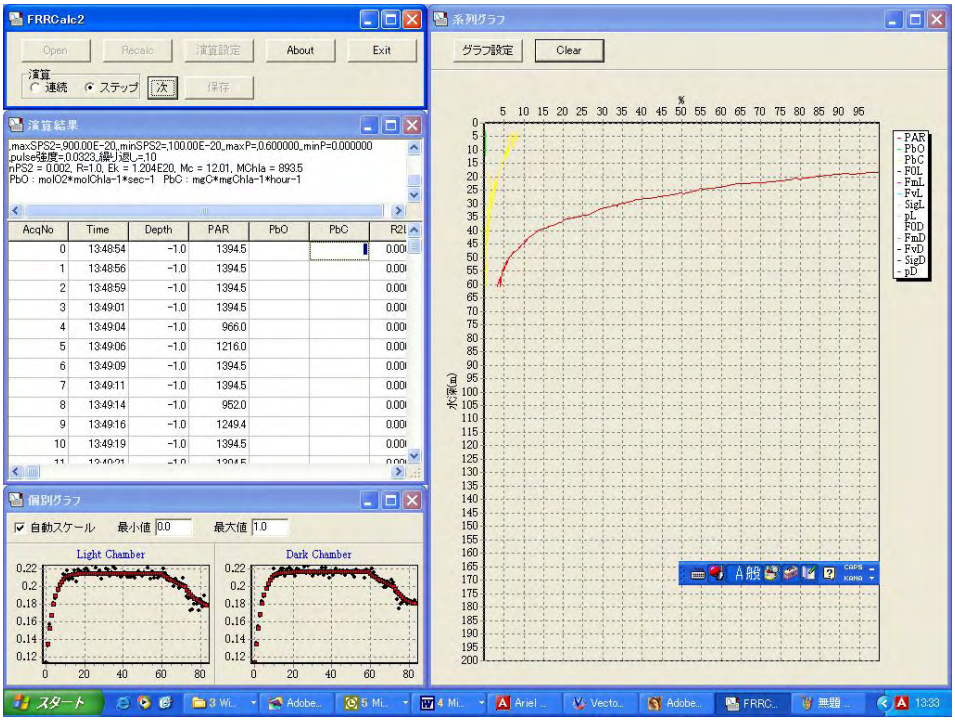


図 4.2.7 FRR Cal ソフト2

4.2.3.2 小型化のための CPU ボードの開発

FRR 法では 1～3μ秒のパルス光を照射するとともに、生じる蛍光を計測する必要があるため、100n 秒程度の高速でシステムを制御する計測システムを開発する必要があった。さらに、小型・軽量化を行うためには、専用の CPU ボードを開発することが必要になった。表 4.2.8 に開発した CPU の仕様一覧を示す。また、図 4.2.9 に開発した CPU のブロック図を示す。

表 4.2.8 CPU の仕様一覧

1. 基板構成

基板構成は下記6枚にて構成する。
①メイン基板(メインA)
②通信制御基板(メインB)
③DC－DC電源基板A, B, C, D

2. 機能・仕様

2－1 CPU
日立製SH3CPU ： SH7727
動作周波数 ： 160MHz(外部供給10MHz：16逓倍にて使用)
基板上にはJTAG用コネクタを用意する。

2－2 プログラムROM
16Mbit(1M×16bit) Flash ROM ： アクセス90nsec
ダウンロード可能なように検討する。

2－3 メインRAM
16Mbit SRAM ： アクセス12nsec

2－4 FPGA
ザイリンクス製FPGA SPARTAN Ⅱを使用。
FPGAにての機能は下記の通りとする。
①各種制御信号, 割り込み信号等の生成。
②各種タイミング信号の生成
③A／Dコンバータ制御
④LEDのON／OFF信号の生成。
⑤A／Dアクジション・データの編集
⑥DMAC機能
⑦外部メモリ制御

2－5 A／Dアクジション・データ格納メモリ
4Mbit(256K×16bit×2)SRAM :アクセス12nsec
1000データ×20W＝20KW×2ch＝40Kw
＋1000データ×4W＝4KW(データテーブル)
デュアルメモリ構成とする。

2－6 A／Dコンバータ
ｱﾅﾃﾞﾊﾞ製 14 ﾋﾞｯﾄ 10MHz A/D ｺﾝﾊﾞｰﾀを使用。
AD9240AS
2ch 搭載
入力切替え OP-AMP はﾘﾆﾃｸ製 LT1675CMS8-1 を各 A/D ｺﾝﾊﾞｰﾀの前段に搭載。

2－7 LEDのON／OFF制御
高速D／Aコンバータ 2ch にて出力
8 ﾋﾞｯﾄ 10MHz 以上で 3ch 内蔵ﾀｲﾌﾟを使用(ﾒｰｶ,型式調査後決定)
LED1/LED2

2－8 汎用出力
オープンドレイン出力 8ch

2－9 LANコントローラ
富士通製MB86964を使用。
インタフェース ： 10BASE－T

2－10 RS－232－C
外部との通信とADuC基板通信用に使用
CPUのSIOを使用。
通信方式 ： 調歩同期／全二重
信 号 ： TXD, RXD
フロー制御： ハードウェアでは無し
通信速度 ： CPUのSIO機能に依存

2－11 基板サイズ
①メイン基板 ： 55mm×180mm
②通信制御基板 ： 50mm×140mm

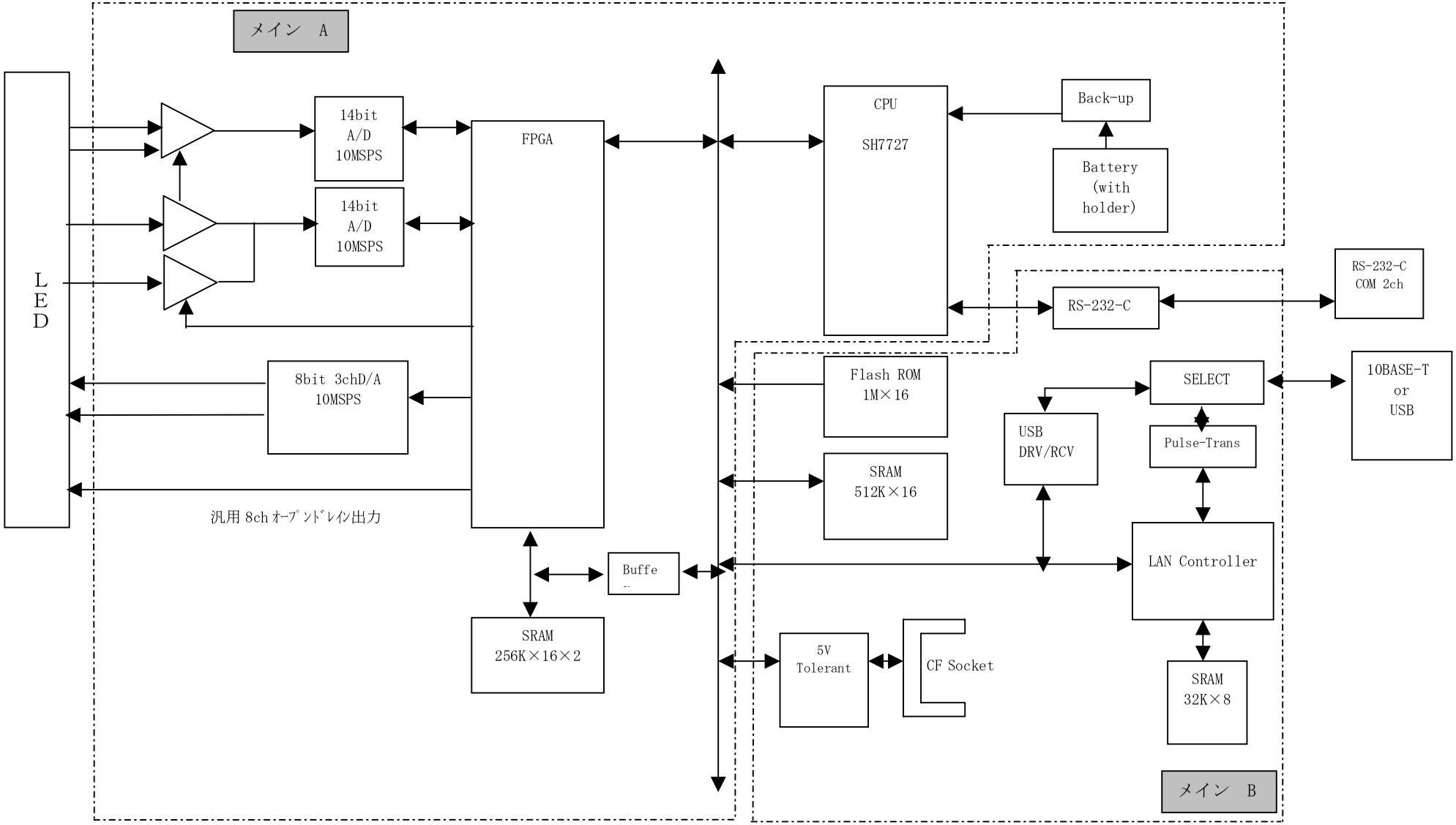


図 4.2.9 CPU ブロック図

4.2.3.3 励起光源部の開発

励起光源を選定するに当たり、高速で点灯できること、クロロフィル a の励起波長（430～490nm）であること、強度が一電子授与体 Q_A を再酸化させること無く還元させるほどの光量を有すること（太陽光の 10 倍以上）、を要件とした。また、小型化を行うためには、光源も小型で消費電力も小さいことが望ましい。今回、ランプ型青色 LED（Lumi Leds 社製、最大波長 470nm（Typical）、半値幅 25nm）を選定し、コーン型レンズと、片凸レンズを組み合わせた光源を開発した。励起光源の強度の測定には、 LI-COR 製光量子センサー（LI-190SA、Silicon photovoltaic detector で、波長範囲 400nm-700nm 、NIST Traceable 5%）をセンサーとして使用したが、点灯周期が 2 μ sec と非常に高速で点灯しているので、市販されているアンプで計測することはできない。そこで、高速アンプを開発・製作し、オシロスコープで計測する方法を確立し、励起光窓にセンサーを装着することによりを測定した。なお、LI-COR 製光量子センサーは通常、太陽光を測定するために使われているので、直線性、応答速度について試験を行った。直線性については、球面鏡を使って太陽光を集光し、太陽光の20倍程度の光を測定した。また、本装置の励起光源と ND フィルター（25%、50%透過）を使用し実験したところ、0～20mmol $s^{-1}m^{-2}$ の範囲で良好な直線性を示した。また、それ以上の光量では、ND フィルターを使用して、計測できることが分かった。応答速度について、LED の立ち上がり速度とセンサーの応答速度を含め 0.95 μ 秒 (90%応答)であった（図 4.2.10 LED 応答）。また、装置に組み込んだ光源強度は 20～30mmol $s^{-1}m^{-2}$ の範囲であった。

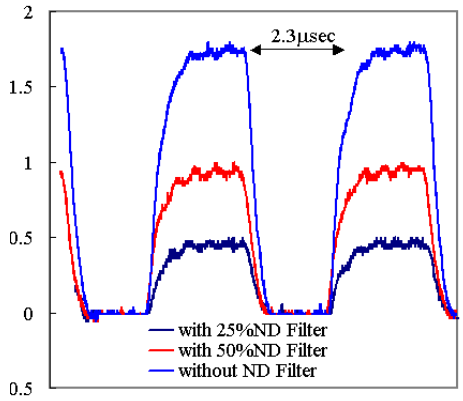


図 4.2.10. LED の応答

4.2.3.4 耐圧容器への実装

耐圧容器はアルミニウムで製作した（図 4.2.11 現場型 FRRF 写真）。大きな開発目的が小型化を行うことにあるので、励起光源や CPU の小型化を行ってきたが、特に光学系の集中する耐圧容器頭部は小型化のために様々な工夫を凝らした。たとえば、励起光により生じた蛍光（90 度）をミラーを使って受光部に導いた。受光センサーはヘッドホンタイプの光電子増倍管を使用した。このようにして、外径 92mm の円筒の耐圧容器に納めた(図 4.2.12 耐圧容器外形図、図 4.2.13 耐圧容器外形図頭部拡大)。

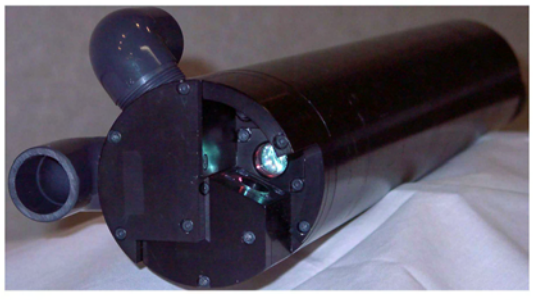


図 4. 2. 11 現場型 FRRF 写真

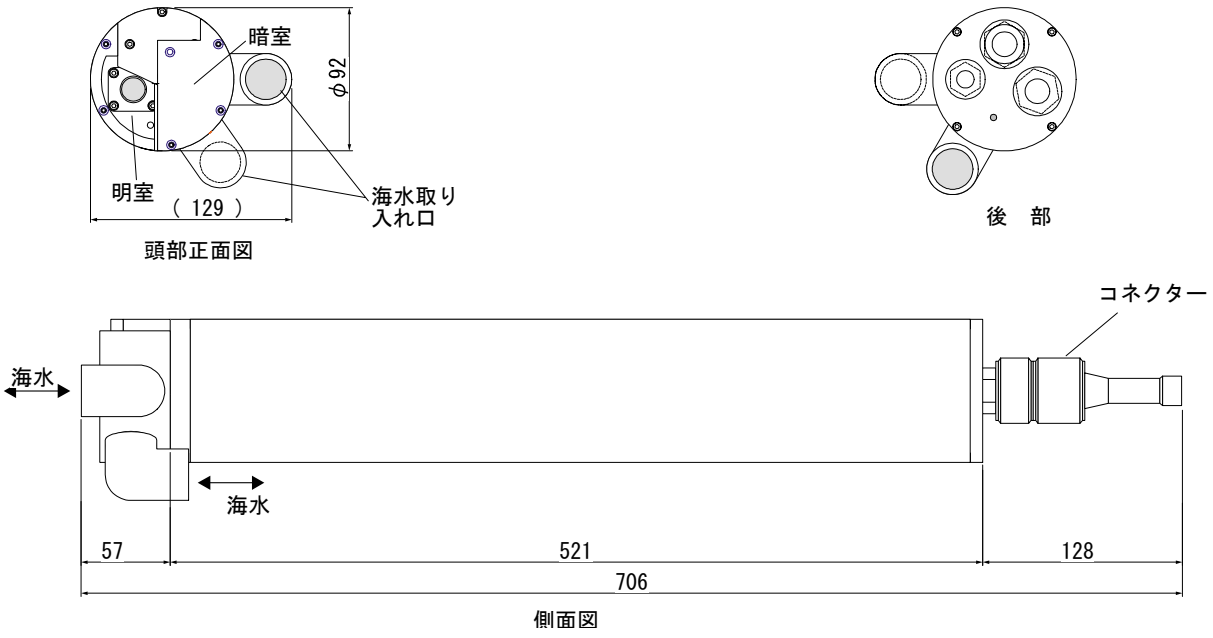


図 4.2.12 耐圧容器の外形図

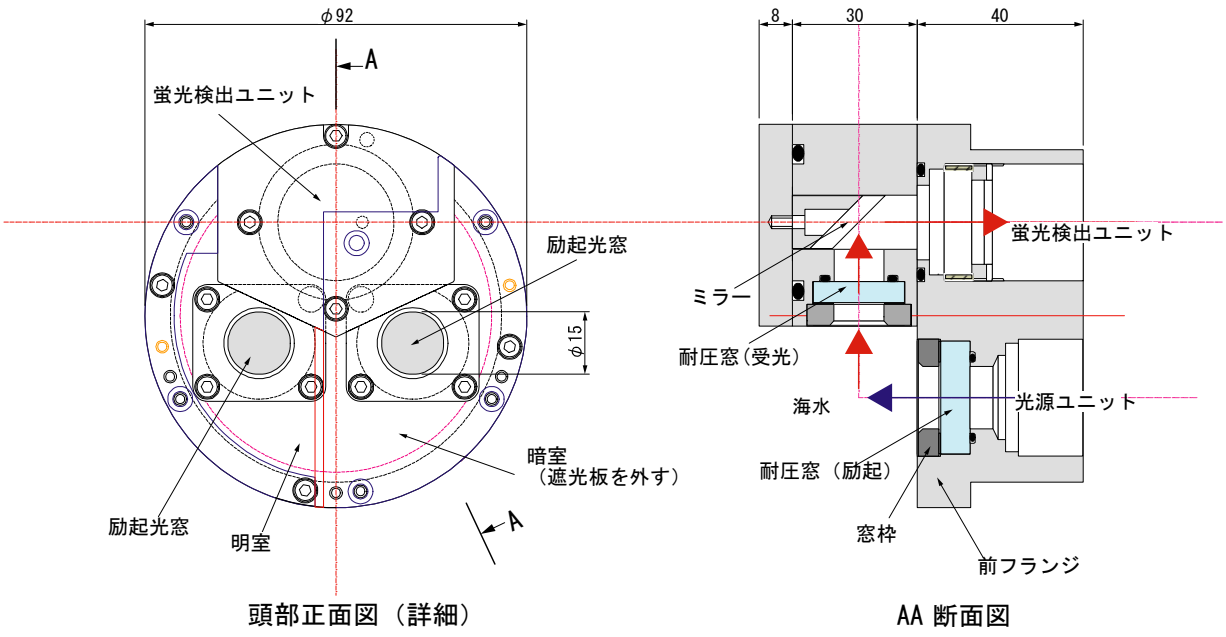


図 4.2.13 耐圧容器の外形図頭部拡大

4.2.3.5 水中自動昇降システムへの搭載

今回開発した、FRRF から出力されるデータは、演算前の大量のデータを出力させることができるように、Ethernet によりデータを出力させているが、日油ブイシステムに送るデータについて、耐圧ケーブルを介して、確実におくることができるのは、RS-232C である。さらに、データの転送を確実にするためには日油ブイシステムから、地上局に送信するデータ数は少ないほうがよいので、FRRF 内で、リアルタイムで光合成パラメータを計算するとともに、基礎生産量も計算した。さらに、この時 FRRF の動作状況を確認するために必要なデータも送ることにした。尚、データ数に制限があるため、桁数は必要最小限とした(表 4.2.14 KIMOTO FRRF からブイに出力されるデータ)。

表 4.2.14 KIMOTO FRRF からブイに出力されるデータ

1) 起動時

項目	出力形式		内容
1 Date	yymmdd		起動日
2 Time	hhmmss		起動時刻
3 S/N	x		CPU シリアルナンバー
4 HV set	xxxx	[V]	PMT HV 設定値
5 ZeroL	xxxx		ライトチャンバーゼロ補正値
6 ZeroV	xxxx		ダークチャンバーゼロ補正値

2) 測定時

項目	出力形式	内容	
1 Time	hhmmss		時刻
2 Depth	xxxx	[m]*10	深度
3 PAR	xxxx	[umol sec-1 m-1]*10	PAR
4 PO	xxxx	[sec-1]*1000	酸素発生速度
5 PC	xx	[hour-1]	炭素発生速度
6 MaxAmpL	xxx	[count]/10	ライトチャンバーアンプ最大値
7 MaxRefL	xxx	[count]/10	ライトチャンバーリファレンス最大値
8 MaxAmpD	xxx	[count]/10	ダークチャンバーアンプ最大値
9 MaxRefD	xxx	[count]/10	ダークチャンバーリファレンス最大値
10 F0L	xx	*100	ライトチャンバーF0
11 FmL	xx	*100	ライトチャンバーFm
12 F0D	xx	*100	ダークチャンバーF0
13 FmD	xx	*100	ダークチャンバーFm
14 RL^2	xxx	*1000	ライトチャンバー相関係数
15 RD^2	xxx	*1000	ダークチャンバー相関係数

4.2.4 卓上型 FRRF の開発

ベンチトップ型高速フラッシュ励起蛍光光度計の概念図を図 4.2.15 に示す。セル中央に 10mm 各蛍光光度計用五面透明セルを用いてサンプルをセットし、励起光源として高輝度青色 LED を 1 つ有しており、現場型同様に LED モニターセンサーが励起 LED の強度を測定している。サンプルの左右にクロ

ロフィルa蛍光用とバクテリオクロロフィルa蛍光用にそれぞれPMTを有している。各々のPMT受光面には685nmの干渉フィルタ、800nmロングパスフィルタ配置し、それぞれの蛍光を選択的に検出している（図4.2.16 ベンチトップFRRF概観図、図4.2.17 ベンチトップFRRF写真、参照）。プロトコルは現場型と同様にターミナルソフトを用いて設定を行い、計測を行い、光合成パラメータ（Fo, Fm, σ_{PSII}, p, α_1, α_2, α_3, τ_1, τ_2, τ_3）を演算、保存することが可能である。またサンプル底部より白色LEDを用いて白色光を常時点灯できるようにすることにより、P-E曲線を得るための実験を可能とした。

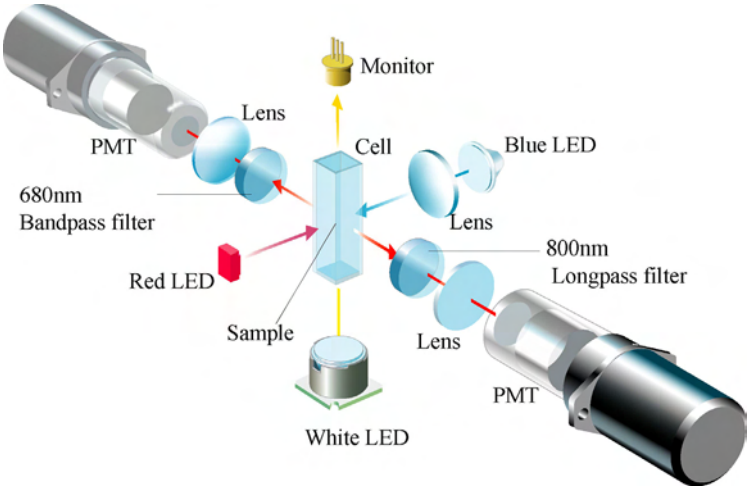


図 4.2.15 ベンチトップ FRRF の概念

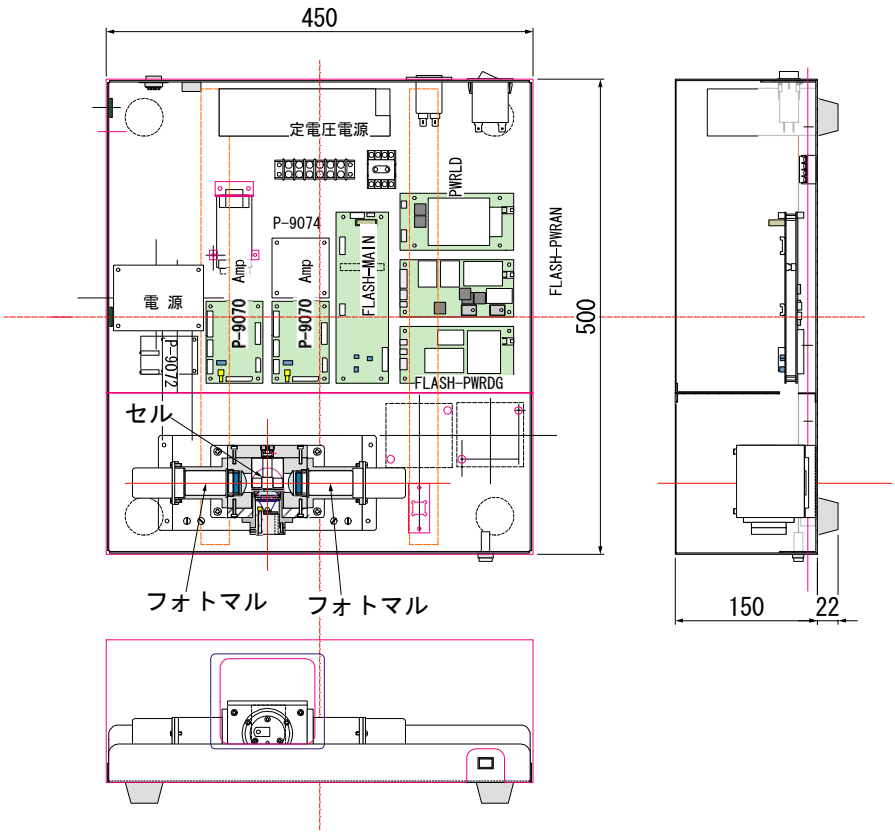


図 4.2.16. ベンチトップ FRRF 概観図

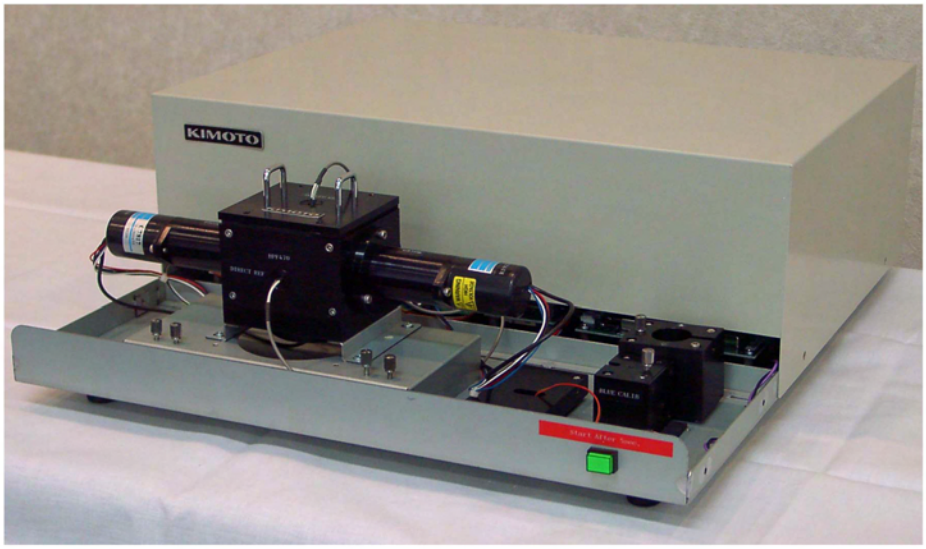


図 4.2.17 ベンチトップ FRRF 写真

4.2.5 実験室での性能評価

(測定例)

Kimoto FRRF では、閃光幅が 2 μs、強度が約 0.03 mol quanta m^{-2} s^{-1} の閃光を 2 μs の間隔で 60 発ほど連続照射し、光合成電子伝達系の電子受容体(Q_A)を徐々に還元させ、生体内クロロフィル蛍光の誘導曲線を描かせて、光化学反応の量子収率(F_v/F_m)や有効光吸収断面積(σ_{PSII})を測定する(図 4.2.18(a))。Q_Aが還元状態になって最大の蛍光収率が得られた後に、同じ強度の閃光を約 75 μs の間隔で 10-20 発ほど連続照射することにより、Q_A の再酸化時定数(τ_{QA})を計測する(図 4.2.18(b))。なお、Kimoto FRRF では、閃光の強度と照射間隔が可変となっているため、さらに詳細な Q_A の再酸化過程を解析することも出来る(図 4.2.18 (c))。

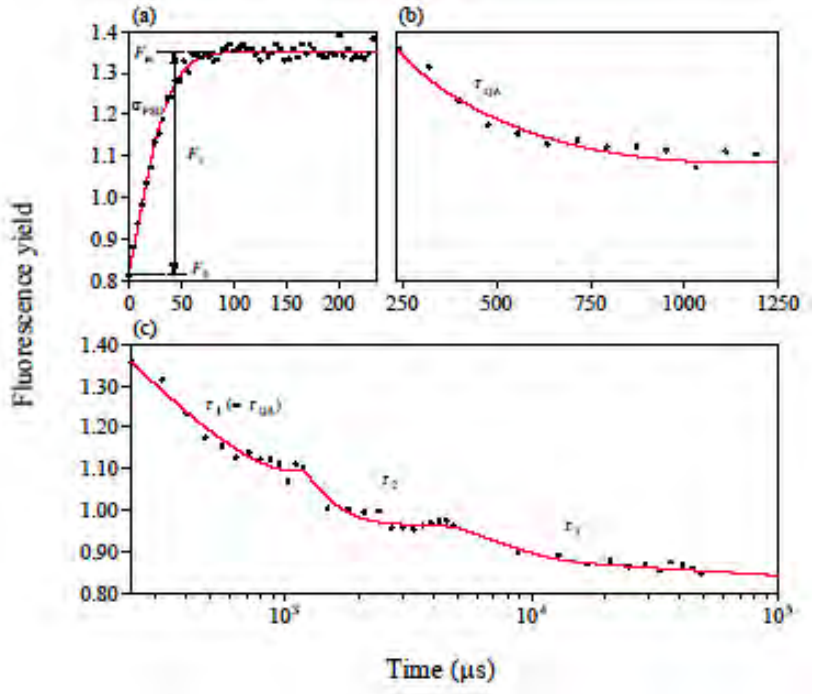


図 4.2.18 Kimoto FRRF によって測定された生体内クロロフィル *a* 蛍光の量子収率の変化

(Uranine とクロロフィル *a* の関係)

実験室での評価に際しては、蛍光色素であるUranineを水に溶かし使用した。Uranineは比較的安価で取り扱いが簡単なため実験室での評価試験や装置の感度確認に使用した。この装置におけるUranineと細胞内クロロフィルaとの関係を珪藻の *Thalassiosira*を使い比較した。*Thalassiosira* は Whatman GF/Fフィルターでろ過し、ジメチルホルムアミドで抽出を行い、ターナー蛍光計(Turner Design社、Model 10-AU)を用いてクロロフィルa濃度を測定した。Uranine 10nMが約0.5 μg/Lのクロロフィルaに相当した。尚、原島らの現場海域における報告(原島　省ら2000 [3])ではUranine 10nMに対して、約0.4 μg/Lの(クロロフィルa＋フェオフィチン)に相当していた。

(HV と蛍光強度の関係)

本装置は光電子増倍管からの信号を高速プリアンプで増幅し、高分解能である 14 ビットの AD コンバータでアナログ信号をデジタル信号にしているので、広いダイナミックレンジでクロロフィル a 濃度を検出することが可能であるが、初期設定の段階で、光電子増倍管に印加している高圧電圧(以下 HV)を調整する必要がある。HV と相対蛍光強度測定例とその関係を図 4.2.19 と図 4.2.20 に示す。

図 4.2.19 と図 4.2.20 は一連の飽和過程、緩和過程の Sequence を 16 回繰り返し(1 Acquisition)、このときに得られた n 番目の flashlet 出力16個を平均化し、n番目の平均的な、$PMT_{Peak}(n)$、$PMT_{Base}(n)$、$Ref_{Peak}(n)$、$Ref_{Base}(n)$を求めた。これらから$(PMT_{Peak} - PMT_{Base})/(Ref_{Peak} - Ref_{Base})$を計算し、相対蛍光感度 I_Rとした。図 4.2.20 において、HV=-650V から HV=-750V と 100 ボルト変化させた時の感度比は 10nM-Uranine で 3.2 倍、Blank で 3.4 倍となった。次に、1 Acquisition において、HV を変えたときの Blank と 10nM-Uranine の Flashlet 毎の相対蛍光感度のばらつきを計算し、Uranine 濃度に換算した(表 4.2.21)。HV を大きくした方が相対的にばらつきが少なく、低濃度までの測定が可能となる。しかし、クロロフィル a 濃度が大きく変化する海域現場でスケールアウトさせないためには HV をむやみに高く設定することはできない。現実的には HV=-600V でも十分現場海域で使用が可能と考えられる。

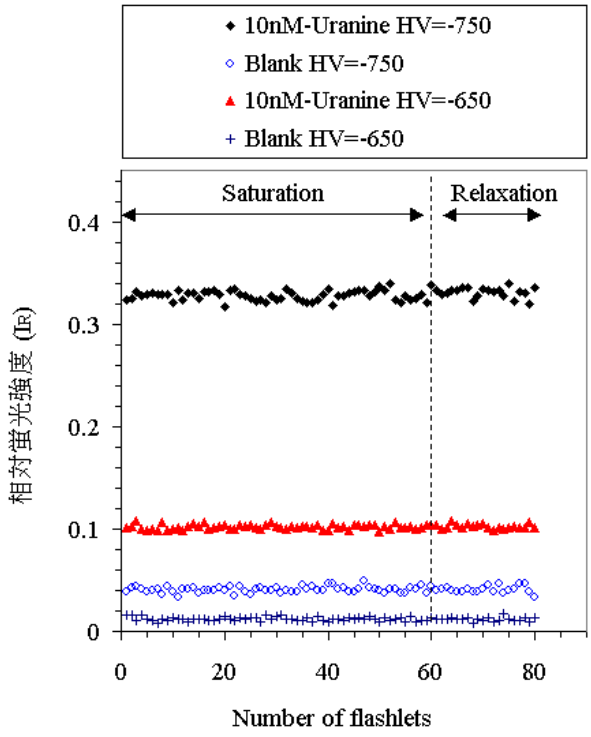


図 4.2.19 Uranine の測定例

Sequence16 回。Uranine は純水で希釈し調整した。Blank は純水。

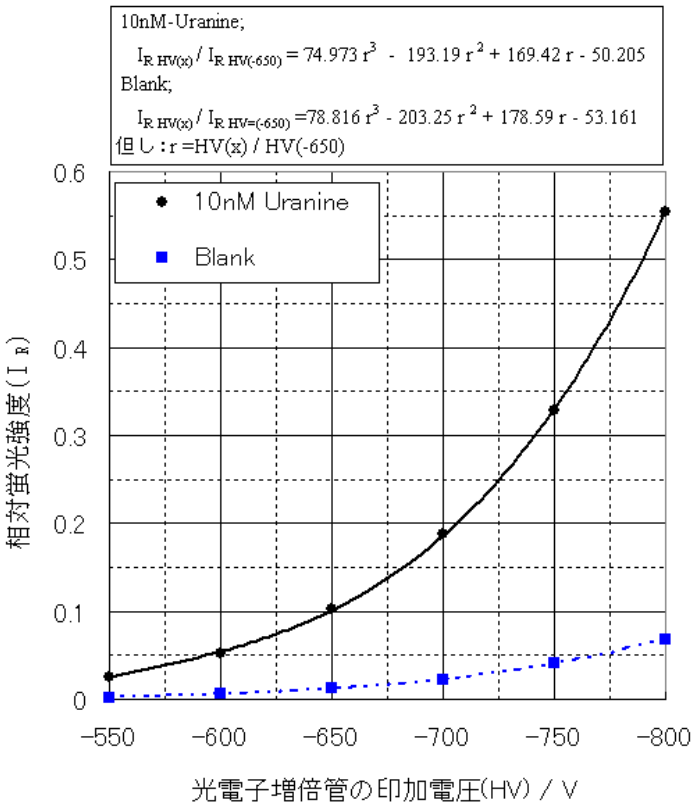


図 4.2.20 HV を変えたときの相対蛍光強度 I_R

I_R=(PMT_{Peak} − PMT_{Base})/（Ref_{Peak} − Ref_{Base}）ベンチトップタイプで測定。

表 4.2.21 において、たとえば、HV=−700V において、10nM−Uranine は 0.5 μg/L のクロロフィル a に相当するので、0.5 μg/L のクロロフィル a を測定した場合±0.02 μg/L(2σ)に相当するばらつきになる。また、Blank についてはクロロフィル a 濃度換算で±0.01 μg/L(2σ)のばらつきに相当する。上記は Sequence を16回として測定したが、実際のプロファイラーの上昇速度と測定の深度分解能を考慮すると1Aquisition 当たり Sequence を 100 回程度行うことは可能で、この時の、ばらつきは上記の半分以下になると期待される。

表 4.2.21 HV を変えたときの出力のばらつき

PMT の HV	−550	−600	−650	−700	−750	−800
Blank (1σ)	1.01	0.43	0.21	0.13	0.11	0.08
10nM−Uranine (1σ)	1.11	0.48	0.27	0.20	0.18	0.16

Uranine 濃度の換算(nM)

Sequence を 16 回、各 Flashlet 毎の平均値から計算、Flashlet は 80 回

（*Thalassiosira*を測定した時の光合成パラメータのばらつき）

Thalassiosira における測定結果では、クロロフィル濃度が 0.1 μg/L で、HV=−700V、カーブフィットした時のカーブと実測データとの偏差より、Fv/Fm の 2σ を計算すると 6.88%であった。*Thalassiosira* のクロロフィル a 濃度が 0.05 μg/L では，その倍，±14%程度での測定が可能となるものと推察される。Sequence を 100 回ぐらいに増やすことで，0.05 μg/L 程度のクロロフィル濃度の海域でも±20%以下の精度でパラメータ求めることが出来るものと推測される。これは、表 4-2-3 から推定される結果と矛盾しない。

4.2.6 野外での性能評価

2004 年 8 月の海洋研究開発機構、学術研究船「淡青丸」の KT-04-15 航海時において、自動昇降ブイに現場型 FRRF をセットし運用した（図 4.2.22 自動昇降ブイにセットした現場型 FRRF）。また、Kimoto FRRF と Chelsea FRRF を同じ吊り下げユニットに取り付けての相互比較も行った。Fv/Fm 比は、両機とも照度が高い表層付近で Light chamber と Dark chamber の間で差がみられた(図 4.2.23)。しかし、深度が深くなるにつれ照度が減少することにより、Kimoto FRRF では Light chamber と Dark chamber 間での Fv/Fm 比に差がみられなくなるのに対し、Chelsea FRRF では chamber 間に有意な差がみられた。また、同様なことは σ_{PSII} においても確認された(図 4.2.23)。これは、Kimoto FRRF の光学設計とキャリブレーションが、精密に行われており、それによってより信頼性の高いデータが得られていることを示している。また、高速な測定が可能なため、データ数が多く、より詳細な基礎生産力の鉛直プロファイルデータが取得できる。1 日の変化の一例を図 4.2.24～図 4.2.26 に示す。

図 4.2.22 自動昇降ブイにセットした現場型 FRRF

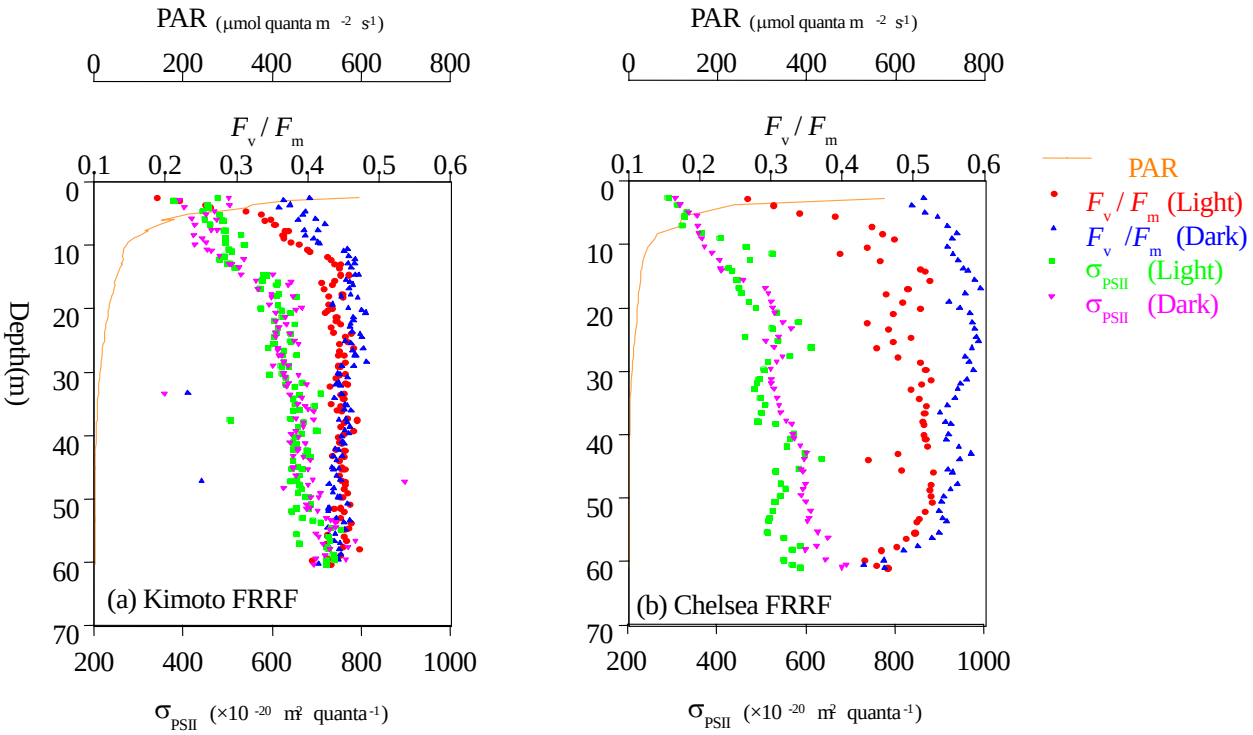

PAR (μmol quanta m -2 s-1)
0 200 400 600 800
Fv / Fm
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6
Depth(m)
0 10 20 30 40 50 60 70
(a) Kimoto FRRF
200 400 600 800 1000
σPSII (×10 -20 m2 quanta-1)
PAR (μmol quanta m -2 s-1)
0 200 400 600 800
Fv / Fm
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6
0 10 20 30 40 50 60 70
(b) Chelsea FRRF
200 400 600 800 1000
σPSII (×10 -20 m2 quanta-1)
PAR
Fv / Fm (Light)
Fv /Fm (Dark)
σPSII (Light)
σPSII (Dark)

図 4.2.23 相模湾中央部において Kimoto FRRF (a)と Chelsea FRRF (b)で測定された PS II パラメーター(F_v/F_m, σ_{PSII})の鉛直プロファイル.

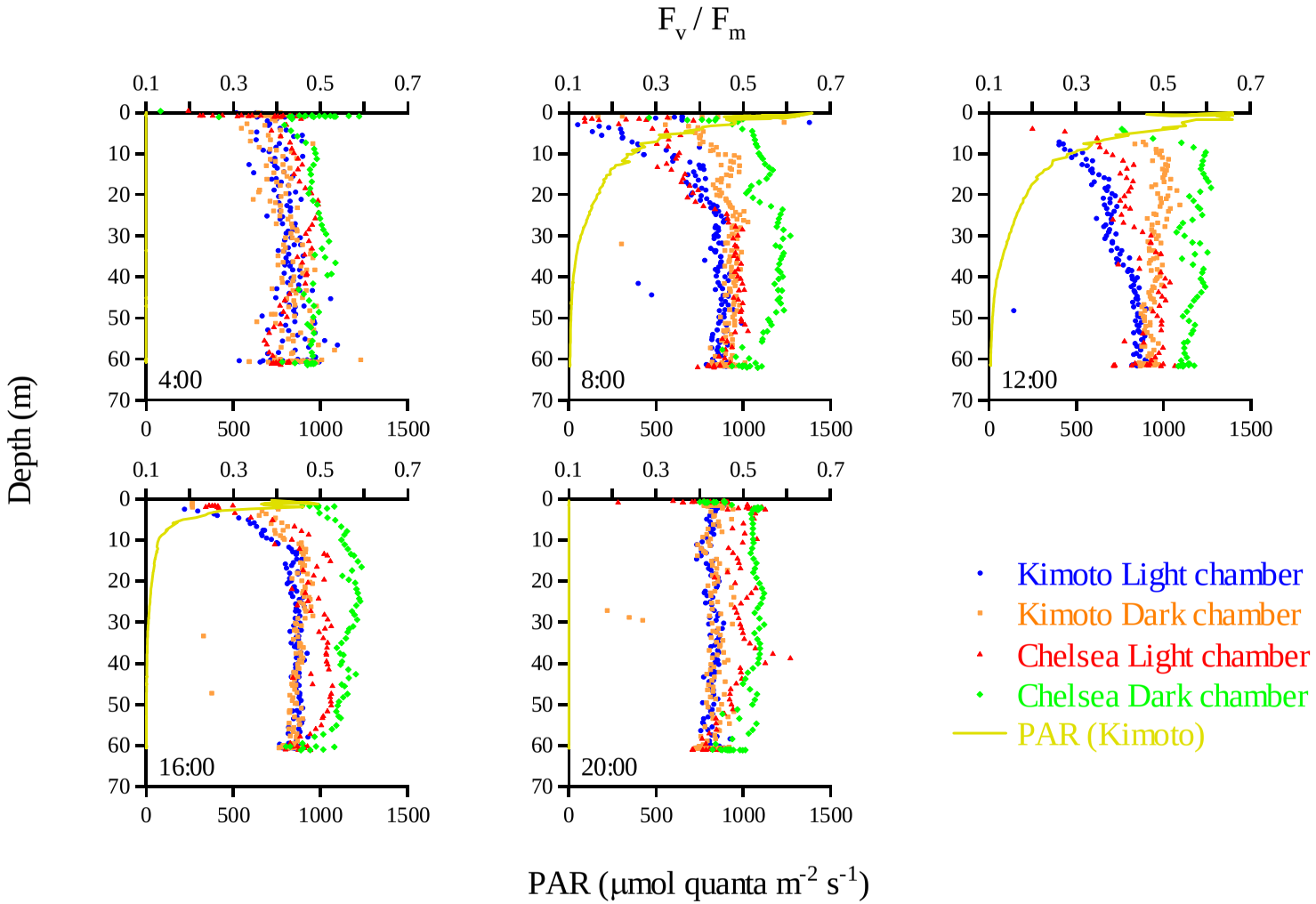


図 4.2.24. 相模湾中央部において観測された F_v/F_m の鉛直プロファイルの日変動

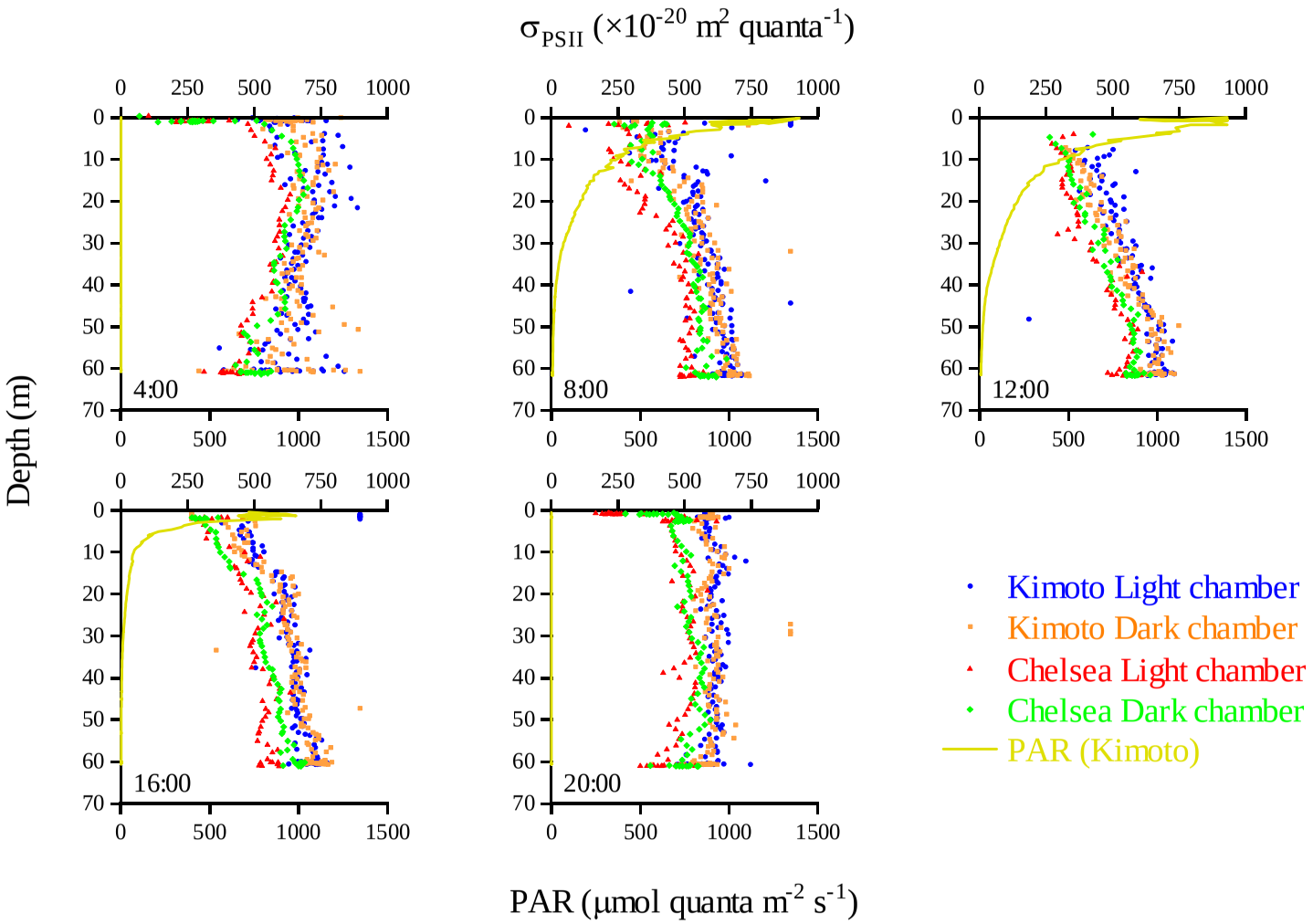


図 4.2.25. 相模湾中央部において観測されたσ_{PSII}の鉛直プロファイルの日変動

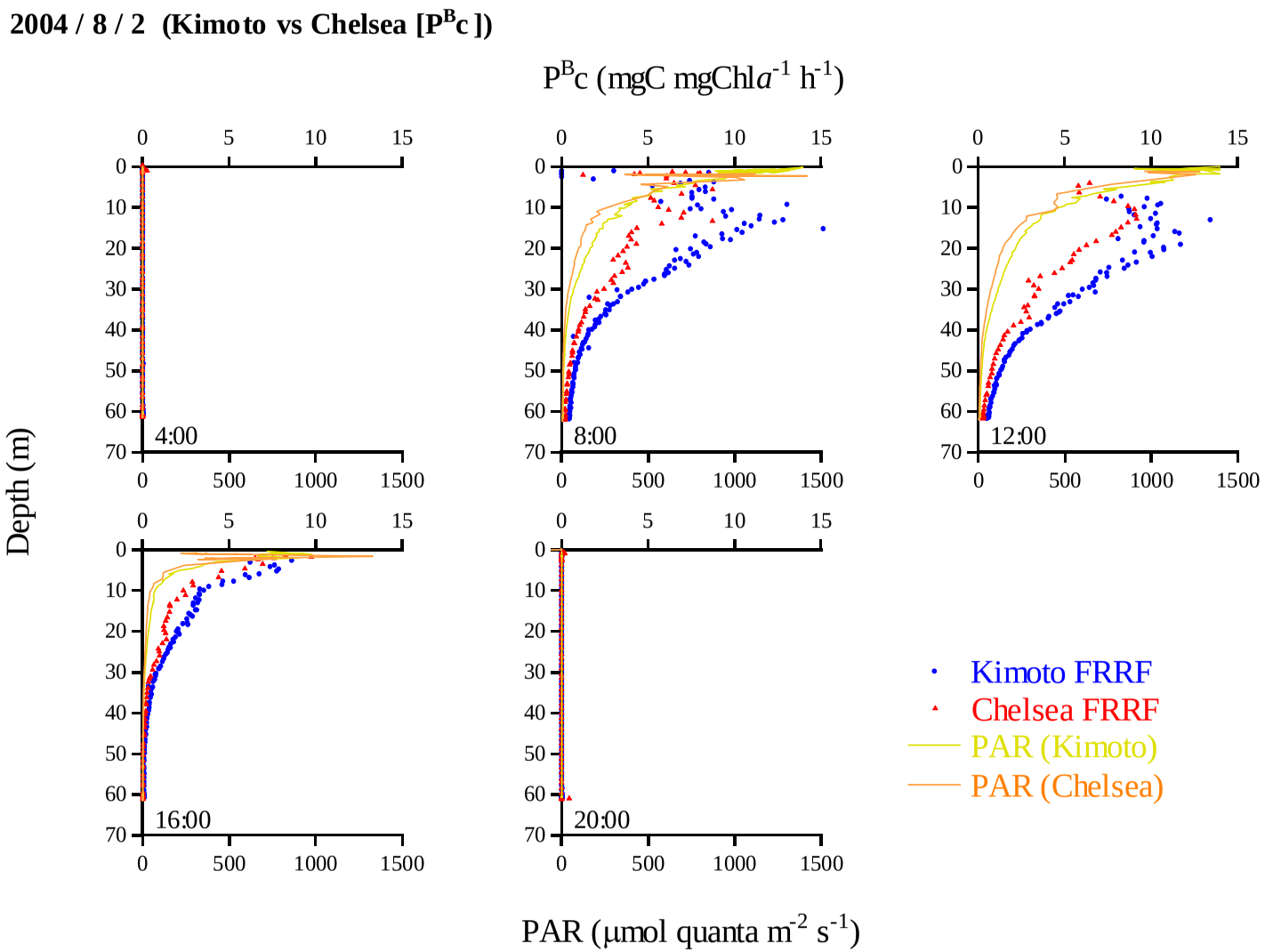


図 4.2.26 相模湾中央部において観測された P^Bc の鉛直プロファイルの日変動

図 4.2.27 には、2004 年 8 月 2 日 14 時 50 分に自動昇降ブイに取り付けた紀本水中現場型 FRRF より実時間転送されたデータを示す。左の二つは CTD による水温、塩分のデータ、真中から右には光合成有効放射照度、単位クロロフィル a 当たりの光合成酸素発生速度の暫定値、クロロフィル a 量の推定のための暗所での可変蛍光強度を示している。

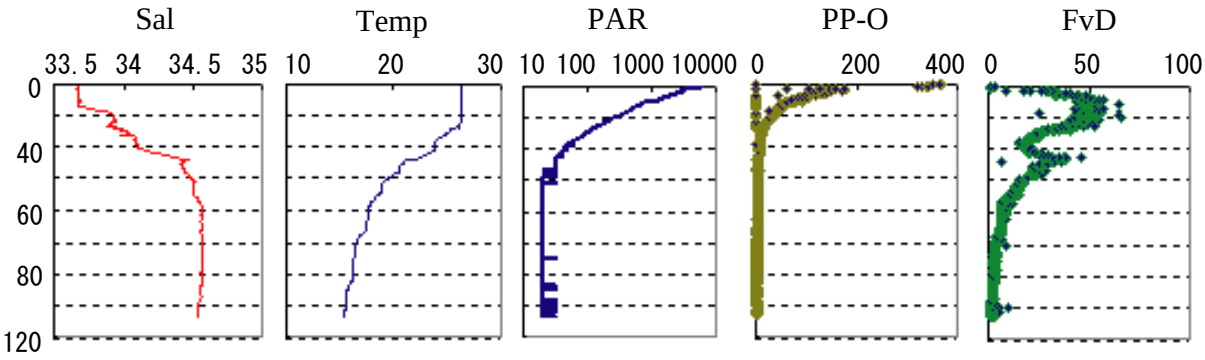


図 4.2.27 実時間転送データの例

4.2.7 生物汚染対策

(生物汚染対策の目的)

開発した FRRF を現場で長期間安定して使用するためには、光学窓を常にクリーンな状態にしておく必要がある。海洋で長期に使用している場合、光学窓に生物が付着し測定に大きな影響を及ぼすことが懸念されるので、その対策としての生物汚染対策を検討した。生物汚染対策として考えられるものとして、塩素発生及びオゾン発生法、ワイパー及びブラシ法、ジェット噴出による洗浄、トリブチルスズ等の薬物の光学面への塗布、酸化チタンや樹脂などの光学面へのコーティング、紫外線照射法などがある。それらの方法には一長一短があるが、今回、光学窓が4面あること、明室の光学窓が開放されていること、また、装置がバッテリーで動作するので、省電力の必要があること、等の条件を勘案して紫外線照射法を採用することにした。ここでは紫外線照射法に関する基礎的な実験の結果について述べる。

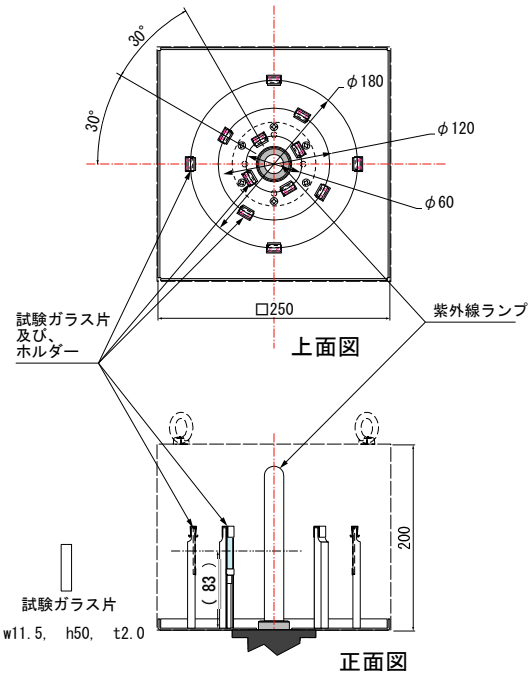


図 4.2.28 紫外線の　　べるための基礎実験に使用した実験籠(A)

（実験方法）

紫外線ランプに冷陰極紫外線殺菌ランプ（QCGL4W、岩崎電気株式会社社製、日本）を使用して実験をおこなった。このランプの初期特性は、ランプ電力 4.5±10%(W)、紫外線出力 0.6W、紫外線強度 0.25W/m^2(距離 50mm)である。図 4.2.28 のような装置（実験籠 A）を製作し、ランプを中心に距離 60mm、120mm、180mm のところに、試験ガラス片をそれぞれ4枚ずつセットした。試験ガラス片は w=11.5、h=50、t=2.0(mm)で、材質は無色透明なホウケイ酸ガラス（TEMPAX Float SCHOTT 社製、ドイツ）である。また、対照として紫外線ランプが無く、ガラス片を、セットできるものも用意した（実験籠 B）。

実験は神戸大学海事科学部 （神戸市東灘区深江南町5-1-1)繋船池に実験籠A、Bを海中にセットしタイマー制御でランプを1時間周期で一定時間ON、OFFした（表4.2.29）。1つのON、OFFシーケンスにおいて実験期間は約1週間としたが、その間、台風の通過により、測定期間は多少短くなったものもあった。試料は実験室に持ち帰り、分光光度計により透過率を測定するとともに、ガラス面についた付着物量の重量を測定した。また、光量の測定はレーザパワーメータ（PM500A、COHERENT社、米国）、レーザパワープローブ（PS10、Moloectron DETECTOR INCORPORATED社、米国）、スペクトルメータ（Spectra Star S100、SOLAR LASER SYSTEM社、ロシヤ）を使用した。

表 4.2.29 紫外線照射実験における照射間隔の試験期間

Experiment	Exposure time	Starting date	Ending date	Duraion
1	30min' ON' h^{-1}	17,Aug,2004	24,Aug,2004	7days
2	15min' ON' h^{-1}	1,Sep,2004	6,Sep,2004	5days
3	5min' ON' h^{-1}	15,Sep,2004	22,Sep,2004	7days
4	1min' ON' h^{-1}	1,Oct,2004	8,Oct, 2004	7days

（結果）

光量測定の結果を図 4.2.30 示す。使用したレーザパワーメータは感度が低いのでレーザパワーメータのプローブを光源に近づけ測定した後、スペクトルメータで距離を可変して距離と強度の関係を求めた。尚、レーザパワーメータで測定した光量は、紫外線に限らずレーザパワーメータで測定可能な全波長領域である。

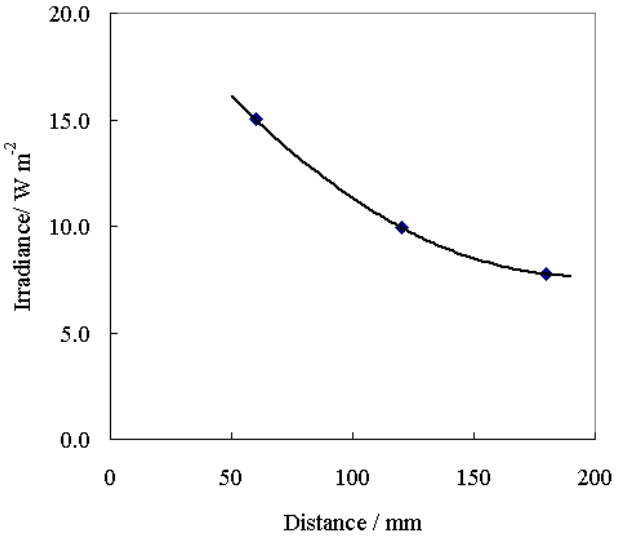


図 4.2.30 ランプからの距離と光強度の関係

図 4.2.31 は試験期間終了後、ガラス片を海水から引き上げ写真を取ったものである。各試験期間において、紫外線を照射しなかったコントロールでは、生物の汚染の状況が随分異なっていた。このことは透過率の測定の結果でも同様で、8月の実験では透過率が 30～50%であったのに対して、その他の期間では 70～90%の透過率であった。さらに、重量測定の結果ではこのことがさらに顕著で8月のみが 13.3mg coupon^{-1} であるのに対して、その他の期間は 2mg coupon^{-1} 以下であった。しかしながら、紫外線を照射したものとしないものを比較することで、評価を行った。写真撮影の結果では照射時間が 5～30min h^{-1} では紫外線ランプの効果により、付着物がほとんど見られなかったが、照射時間が 1min h^{-1} では少し汚れを確認した。これは、ガラス片の透過率の測定でも同様のことが伺えた(図 4.2.32)。紫外線を照射したものは、照射時間が 5～30min h^{-1} では、全波長で、且つ、全ての距離(60～180mm)で、透過率 95%以上を確保することが出来たが、照射時間が 1min h^{-1} では透過率が 89～95%となり透過率の減少が確認された。ところで、30min h^{-1} (8 月)の紫外線を照射した Sample は透過率が 95%以上で結果は良好であったが、重量測定の結果では、0.75～1.2mg coupon^{-1} であった。図 4.2.31 を良く見ると、ガラス片を固定するたの金具付近で生物の汚染があり、この付近は取付金具付近のために影になり、紫外線が照射されていなかったためと思われる。照射時間が 5～30min h^{-1} であれば紫外線ランプの効果によって、ガラス片に生物の付着を防ぐ効果は十分あると推測できる。

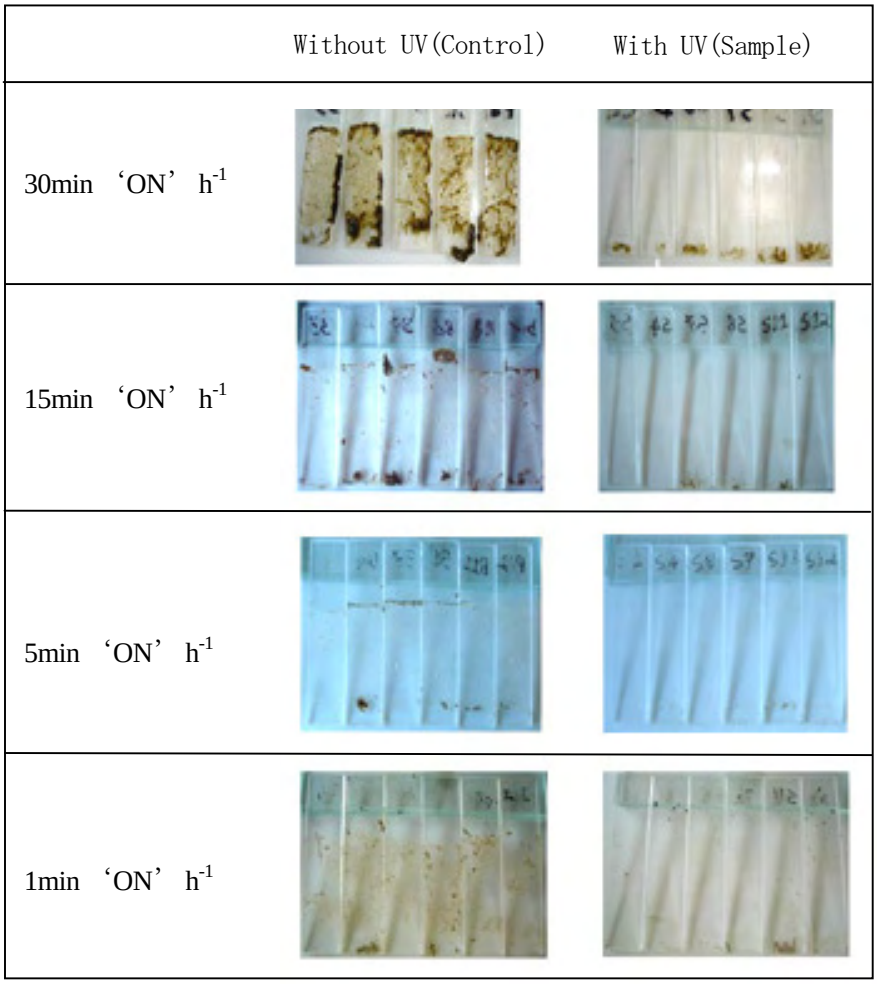


図 4.2.31 紫外線照射実験におけるガラス片の写真

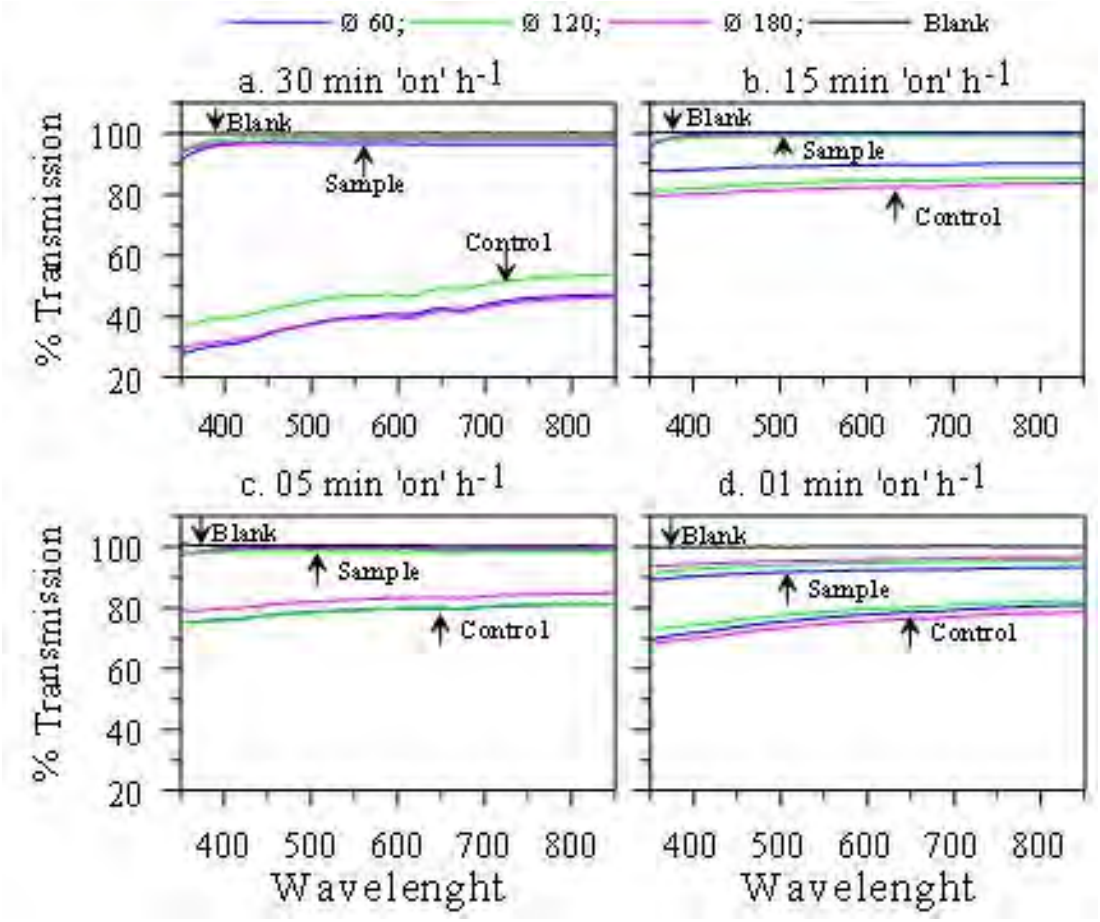


図 4.2.32 紫外線照射実験におけるガラス片の透過率スペクトル

4.2.8 完成仕様

開発した現場型 FRRF の仕様を表 4.2.33 に示す。

表 4. 2. 33　開発した現場型 FRRF　仕様一覧

Chlorophyll *a* 感度	F_0,F_m 0.01 μg/L 程度
基礎生産量	リアルタイムで基礎生産量を演算、データを出力可能 精度：＜±20%、0.05 μg/L クロロフィル *a* レベル
データ記録	フラッシュメモリー
データ処理	オンボードリアルタイム、オフライン対話型
通信	リアルタイム RS232C 出力、および Ethernet
測定系	明室・暗室のそれぞれの蛍光測定
LED 強度	ランプ型 LED1 個/1 光学系
寸法：長さ	578mm（本体）
外径	92mm
重量	約 5kg(空中)、約 1.3 kg（水中）
電源	DC24V、600mA

4.2.9 開発の経緯

開発の経緯を表 4.2.34 にまとめた。2002 年 8 月より、まず水中型機用の電子基板の開発に着手した、次に完成した電子基板を用いて卓上型機を作り、光学的なデザインをきめるための種々の検討を行った。2003 年 7 月には完成した卓上型機を、研究チームメンバーに加わった米国ラトガース大学、ファルコフスキー教授(もともとの開発者)の研究室に持ち込み、同大学の機械と性能比較試験を行った。基本的な動作は良好であることは確認されたものの、光源に用いた LED の光強度が不足していたために、新たな光源を探した。この結果採用した米国 LumiLeds の製品を大電流で動作させることで問題を解決した。光源が決まったことにより、水中型機の光学的なデザインの検討を開始した。卓上型機を利用して様々なデザインの光学組立てを試験した。並行して光学窓の耐圧設計をし、日油技研工業において耐圧試験を行った。また、2003 年 8 月からデータ解析ソフトウエアの開発に着手した。完成した水中型機を 2004 年 8 月の淡青丸航海において自動昇降ブイシステムに搭載し、実海域試験を行い成功を収めた。さらに、2004 年 9 月に改良型の卓上型機を完成した。

表 4.2.34 開発経緯一覧

2002 年 7 月	システム設計開始
2002 年 7 月	CPU の開発検討
2002 年 12 月	紀本岳志が米国 Rutgers大学. Zbigniew S. Kolber 氏、 Paul G. Falkowski 氏を訪問し、技術的な助言を得る
2002 年 12 月	CPU の仕様確定
2003 年 2 月	CPU 試作機完成、動作試験
2003 年 3 月	Falkowski 氏が紀本電子工業(株)に来社、才野とともに開発についての議論を行う
2003 年 3 月	現場型1号機試作機・ベンチトップ1号機試作機の完成、動作試験
2003 年 5 月 22 日～27 日	淡青丸 KT-03-6 次研究航海(紀本電子、津田) 現場型 1 号機試作機、 ベンチトップ 1 号機、淡青丸乗船試験。励起光源の光量不足と光量の測定方法についての検討が必要であることがわかる
2003 年 7 月～8 月	藤木が Falkowski 氏の研究室にて、ベンチトップ1号機を動作試験・改造
2003 年 8 月 27 日 ～9 月 1 日	淡青丸 KT-03-13 次研究航海淡青丸乗船試験(紀本電子、津田)、ベンチトップ1号機試験
2003 年 8 月	ベンチトップ2号機、現場型2号機開発を開始。現場型 1 号機(試作)をベンチトップに改造し、光源の試験
2004 年 2 月	東海大学、千賀、励起光源の測定の検討
2004 年 3 月	米国 Rutgers大学 Maxim Gorbunov 氏が紀本電子に来社、技術的助言を得る、動作試験
2004 年 3 月	光校正装置を製作
2004 年 4 月	淡清丸航海時にベンチトップ1号機の淡青丸乗船試験
2004 年 5 月	現場型 2 号機、耐圧試験に失敗、設計変更
2004 年 7 月	光校正装置を使い、光量測定法を確立
2004 年 7 月	現場型 2 号機、耐圧試験成功
2004 年 7 月	Crest ブイと通信試験
2004 年 7 月	現場型 2 号機完成
2004 年 7 月 31 日 ～8 月 3 日	淡青丸 KT-05-15 航海、淡青丸乗船試験。Crest ブイ搭載、吊り下げブイ搭載、ベンチトップ1号機
2004 年 8 月	ベンチトップ 2 号機
2004 年 9 月	Maxim Gorbunov 氏来社、データの評価。高い評価を得る
2004 年 10 月	青鷹丸乗船試験

4.2.10 今後期待される効果

現在のところおおむね所期の目的を達成したが、将来的に普及させるためには、実運用の経験を重ねて安定性を増す必要がある。また、光学的センサーの宿命である、生物付着の防護対策として、紫外線照射の検討を進めてきている。現段階では紫外線が有効であることは確認できたが、実際にどの様な構造で紫外線ランプを配置するか今後の課題である。チェルシー社ではすでに FastTracka の後継機として、植物の生理状態のみを対象とした、単一フラッシュの製品の販売を開始した。当初の意に反して、プロファイリングセンサーとしての利用が殆ど進まなかったためと思われる。しかしながら本研究で開発した FRRF は基礎生産の計測用に特化し、一回のプロファイル測定で直ちに基礎生産の暫定値を送信することができる点で、世界でもユニークな存在となった。今後本機での計測事例をまして、後述のような検証法で検証することによって信頼性を築き上げることによって普及を図れるものと考えている。

本機を小型化したことにより、様々なプラットフォームへの搭載の可能性が増した。自動昇降ブイのほか、今後は海洋グライダー、プランクトンレコーダー、ARGO ブイなどの自律型プラットフォームへの搭載を検討したいと考えている。

4.2.11 謝辞

本開発にあたり様々なご助言を頂いた、米国Rutgers大学 Paul G. Falkowski氏、Maxim Gorbunov氏に感謝いたします。耐圧容器開発にあたりご協力いただいた、日油技研工業株式会社殿に感謝いたします。生物汚染対策実験においてご協力いただきました神戸大学海洋海事学部 石田憲治氏、橋村真幸氏に感謝いたします。

4. 2. 12 引用文献

1) Zbigniew S. Kolber, Ondrej Prasil, Paul G. Falkowski 1998, Measurements of variable chlorophyll fluorescence using fast repetition rate techniques: defining methodology and experimental protocols, Biochim. Biophys. Acta. 1367,88-106.
2) Zbigniew S. Kolber, Paul G. Falkowski 1993, Use of Active Fluorescence to Estimate Phytoplankton Photosynthesis in Situ, Limnol.Oceanogr. 38,1646-1665
3) 原島 省ら 2000、フィリー利用による海洋環境モニタリングおよび関連研究に関する総合報告書、CGER-M007-2000、環境庁国立環境研究所、46-58

4.3 光学的手法による実時間海洋基礎生産の推定法の開発

本研究では、衛星データの検証を目的としているので、今までの衛星データの検証として用いられてきた、一日・水柱当りの積算純基礎生産を、自動昇降ブイで計測される一日一回か二回の FRRF のプロファイルデータを用いて推定するための方法を開発することが具体的な目標としている。一般に海洋の基礎生産は、日射量、植物プランクトンの生物量、および単位生物量あたりの光合成活性の関数として表現される。ここで、植物プランクトンの生物量は当初の 3 年間でブイに搭載した分光放射計のデータをニューラルネットに与えて求める手法を開発したが、分光放射計の搭載を取りやめる方向で検討を加えることとしたため、FRRF のデータから単位生物量当りの光合成活性と併せて推定する手法を検討した。また、光の強さとしては、気象衛星の可視画像から雲の量を推定し、ブイ設置点の時系列の光合成有効放射を求める手法を開発した。

なお、推定の目標としている純基礎生産というのは、植物プランクトンが光合成で作り出した有機物と酸素（これを総基礎生産という）から植物自身が呼吸によって消費した部分を差し引いたもので、物質循環の視点からは次の栄養段階に渡すことのできる有機物の量をあらわす指標として重要である。後述するように、FRRF では総基礎生産を測定するので、これから純基礎生産を求めるためには植物の呼吸を知らなければならない。今のところ実験的にこれを求めることは非現実的なので、本研究では、実験海域における経験的な関係式を求めてこれを用いることとした。

また、今までの純基礎生産の測定としては、^{14}C を利用した 24 時間の培養実験が標準的に用いられているが、この手法に関しては、ビンに閉じ込めたことによる生物群集組成の変化、ビンからの汚染、などなど様々な問題が指摘されていながらそのまま放置されているのが現状である。また、培養法によっては、ある瞬間に採水器に捕らえられた離散的な試料の 24 時間の平均的な活性が測定されるのに対し、FRRF のプロファイルでは瞬間的ではあるが連続的な鉛直分布が得られる。本研究で行ったように FRRF をおなじ地点で何回も繰り返して測定した場合、ある地点を通過する異なった水塊の平均値を求めているのに対して、ビン培養法では、ある瞬間にその地点にいた生物群衆が一日の間に動いた（深度ごとに異なる）範囲の平均値として求めている。このようにビン培養法と FRRF 法を比較するだけではいつまでたってもどちらがもっともらしいかを決定することができないので、本研究では両者に対する第 3 の方法として酸素 17 同位体比異常法を導入した。この手法はごく最近開発されたものであり、定義どおりの総基礎生産を求めることができる。

4.3.1 ブイ設置点の海面光合成有効放射照度の連続推定

本研究で開発した水中自動昇降ブイシステムは海面上に固定点を持たないので、一日あたりの基礎生産を測定するためには何らかの方法でブイ設置点の海面光合成有光放射照度を連続的に測定しなければならない。我々はこのために、静止気象衛星ひまわり5号(GMS-5)のデータを用いルこととした。GMS-5は毎時間観測をおこなっており、十分な空間分解能を持っている。

PARの推定は、木津（1995）の方法に準じた。すなわち、

晴天の場合PAR=S×(AI+AR+AA)

曇天の場合PAR=S×(AI+AR+AA)×(1－A×a)

ここで、S ＝I×cos θ は大気上面における太陽光強度、

AI＝直達光に関する減衰率、

AR＝レーリー散乱光に関する減衰率、

AA＝エアロゾルによる拡散光に関する減衰率、

A ＝R/cos θ　アルベド

I:太陽定数、a:雲による減衰、θ :太陽高度　である。

これによって日射量[w/m^2]を推定し、可視光波長域400～700[nm]の10[nm]毎に地上における光量子数照度[μE/m^2/s]を波長積算し、地上における光合成有光放射強度PARをもとめた。得られた結果は陸上固定点に設置した可搬型のPAR連続モニタリング装置で検証した。図4.3.1にこの方法で推定した相模湾定点における光合成有光放射の時系列を船舶観測で検証した結果を示す。また、図4.3.2に名古屋大学地球水循環研究センター屋上での観測結果と推定値の比較結果を示す。この方法は特許出願中である。

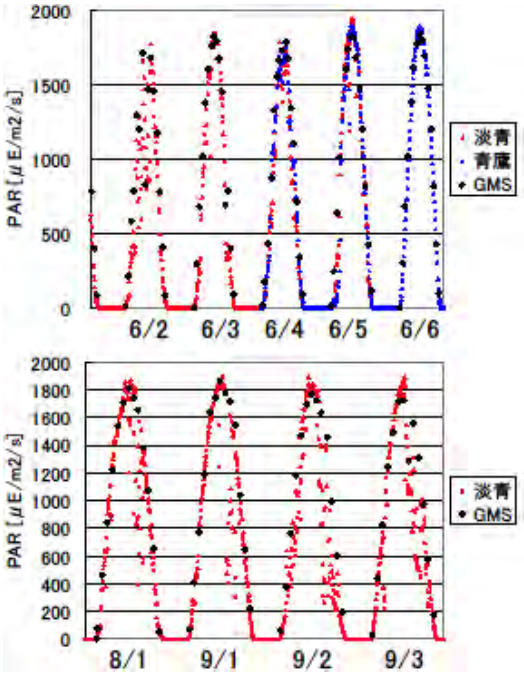


図4.3.1　　2002年6月および9月の、相模湾St.S3における日射。小さい△（赤）が淡青丸による観測結果、小さい△（青）が青鷹丸による観測結果。大きな●がGMSデータから推測した値。

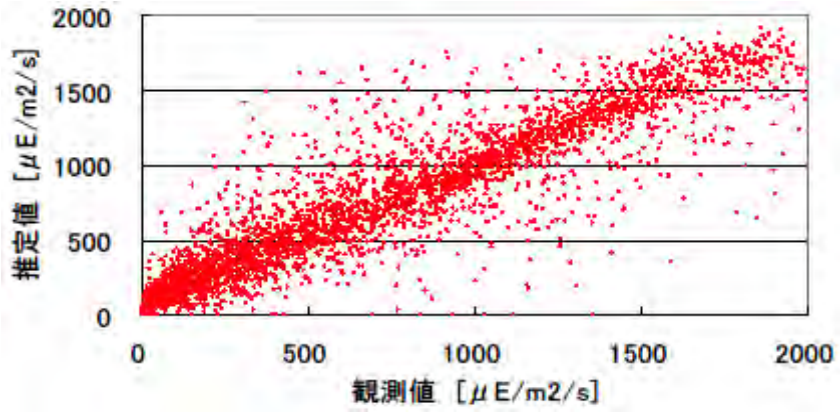


図4.3.2 名古屋大学におけるPARの実測値と推定値の比較。2001年9月～2002年10月。サンプル数：4011、決定係数：0.83、平均誤差：21%

4.3.2 高速フラッシュ励起蛍光（FRRF）法によるクロロフィル鉛直分布の推定

FRRF によって求められるFm（最大蛍光強度）は光合成反応中心がすべて閉じた状態で反応中心のクロロフィルから発せられるので、反応中心の数とクロロフィル量が一定の割合であるならばクロロフィル量を求めることができる。しかしながら、Fm や Fo（最小蛍光強度）には反応中心と直接関係ないシグナ

ルが含まれている恐れもあるので、反応中心と直接関係する量としてFv(＝Fm−Fv、可変蛍光)を使い、クロロフィル濃度との相関を求めた(表4.3.3)。この結果、夜8時の測定値を用いることによって良好な関係式が得られることがわかった。したがって実際の運用では夜間にクロロフィル鉛直分布の測定のために計測を行うことが必要であることがわかった。

表 4.3.3　クロロフィル a と FRRF の FvD(暗条件の可変蛍光)の関係

航海	観測時刻	推定式	決定係数	サンプル数
KT−04−11 Chelsea−FRRF	04h	Y=0.43X + 0.47	R^2=0.31	n=28
	20h	Y=0.47X + 0.16	R^2=0.80	n=28
	10−14h 以外	Y=0.31X + 0.59	R^2=0.49	n=168
KT−04−15 Chelsea−FRRF	04h	Y=0.31X + 0.42	R^2=0.15	n=14
	20h	Y=0.67X + 0.01	R^2=0.80	n=14
	10−14h 以外	Y=0.52X + 0.18	R^2=0.56	n=84
KT−04−15 Kimoto−FRRF	04h	Y=0.13X + 0.69	R^2=0.003	n=27
	20h	Y=4.19X + 0.23	R^2=0.69	n=23
	10−14h 以外	Y=2.05X + 0.56	R^2=0.30	n=50

観測はいずれの場合も相模湾定点で午前4時から午後8時まで2時間おきに採水を繰り返した。Yは実測のクロロフィルa濃度、Xは暗室での可変蛍光の読み取り値。20時の測定では決定係数が高く、切片の値が小さいことに注目。

4.3.3 高速フラッシュ励起蛍光(FRRF)法による日・深度積算総基礎生産の推定

4.3.3.1 FRRF による総基礎生産の測定

FRRF によって総基礎生産が測定されていることを確認するために、チェルシー社の FRRF に LED を用いて連続光を照射する装置(PE−adapter)を製作し、光合成−光曲線の実験を行った。また、同じ LED を用いて短時間の^{14}C 培養実験を行うための光傾斜照射装置(LED－Photosynthetron)を製作して光合成光曲線の実験を行った。緑藻 *Dunaliella tertiolecta* を用いた短時間培養の結果、^{14}C 法と FRRF 法で FRRF 法のほうが系統的にやや高い最大光合成活性が得られることがわかった。これは、FRRF 法が光合成の明反応に対応した現象を観察するのに対し、^{14}C 法が暗反応まで含んだ現象を観察していることに対応した違いと解釈された(図 4.3.4)。

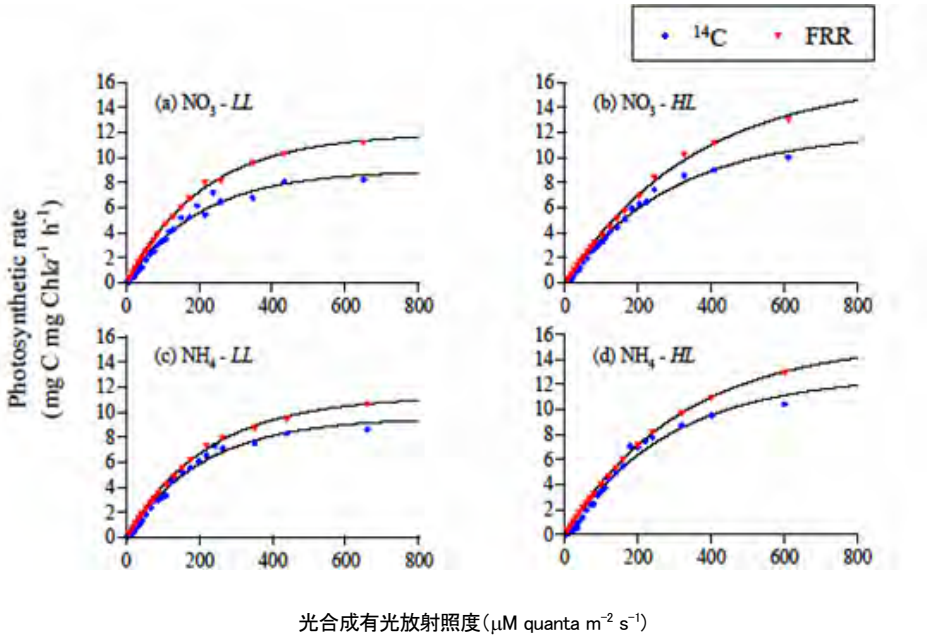


図 4.3.4　緑藻 *Dunaliella tertiolecta* を用いた光合成−光曲線。青が^{14}C 法、赤が FRRF 法。LL は低照度(80μM quanta m^{-2} s^{-1})、HL は高照度(280μM quanta m^{-2} s^{-1})で培養。

4.3.3.2 FRRF による日・水柱積算総基礎生産の推定とその検証

FRRF によって求められた日・水柱積算総基礎生産を培養法と比較するために、淡青丸航海時に相模湾定点において FRRF の繰り返し時系列観測を、^{13}C および $H_2{}^{18}O$ トレーサー法、酸素明暗ビン法による 24 時間現場培養実験と並行して実施した。また、独立な手法として酸素 17 同位体比異常法による測定も行った。

酸素 17 同位体比異常法は本研究が CREST に採択された 1999 年夏に始めて報告された方法であり、われわれは海洋の基礎生産を測定するまったく新しい方法としてこれを採用した。その原理は酸素 17 の同位体比の対流圏における変動が呼吸、光合成、蒸発、気相ー液相ガス交換などに伴う、いわゆる質量数依存の同位体分別によっているために、酸素 18 の変動のおよそ半分程度(0.506～0.518)の一定の比率で起こっているが、成層圏上部でのオゾンの光化学的な組み換え反応($O+O_2 \Longrightarrow O_3$)で起こる質量数に依存しない同位体分別の結果生じた酸素原子が二酸化炭素を介して対流圏の自然水中の酸素原子と交換することによって、同位体比異常が水に伝えられ、大気中の酸素分子と水の酸素原子との間に同位体比異常の差が生じているために、水から光合成によって生成する酸素ガスと大気から溶け込んでくる酸素ガスが同位体比異常によって区別できるということに基づいている。

海水中に存在する酸素ガスのソースとしては、光合成による生成、大気海洋ガス交換による取り込みが、シンクとしては呼吸による消費を挙げることができる。それらの過程に伴う同位体分別は質量依存であるので、酸素 17 同位体比異常を

$$^{17}\Delta = \ln(^{17}R/{}^{17}R_{ref}) - 0.518 \ln(^{18}R/{}^{18}R_{ref}) \quad (1)$$

ただし、$^{17}R = {}_{17}O_{16}O/{}_{16}O_2$, $^{18}R = {}_{18}O_{16}O/{}_{16}O_2$ で、添字*ref*は基準物質を意味している。そして $\ln(^{17}R/{}^{17}R_{ref}) = \ln(\delta^{17}O/1000+1)$および、$\ln(^{18}R/{}^{18}R_{ref}) = \ln(\delta^{18}O/1000+1)$ である、

と定義することによって、これを質量依存の同位体比分別に依存しない”保存量”とみなすことができる。実験的に光合成で生成する酸素ガスの酸素17同位体比異常は249±15 per megであり、大気海洋ガス交換では、16±2 per meg の同位体比異常がおこるとして、総基礎生産(GOP)は、

$$GOP = K\,Co(\Delta^{17}O - \Delta eq)/(\Delta max - \Delta^{17}O)$$

ここで、Kは大気海洋間ガス交換ピストン速度、Coは平衡酸素濃度、Δeqはガス交換によって入る酸素の同位体比異常、Δmaxは光合成によって生成される酸素の同位体比異常である。

としてあらわすことができる。

淡青丸航海において我々は、夜明け前 0400 時から日没後 2000 時までの二時間おきの観測、日出から 24 時間の現場法培養実験に加えて、表層混合層内における CTD と酸素・窒素ガス分圧系による連続計測を行って、船舶の気象海象連続記録と合わせてガス交換速度を実測した。これらの結果に基づいて酸素 17 同位体比異常から総基礎生産を推定した。

それらの結果を表 4.3.5 に示す。

これによるとそれぞれの手法でおおよその変動幅は一致するもののそれぞれの変動傾向は必ずしも一致しない。これは先に述べたような、ビン培養法に伴う問題点のほかに、それぞれの方法で測られている時間スケール・空間スケールの違いが現れているものと思われる。この中で、FRRF 法と酸素 17 同位体比異常法はともにビン培養法によらずに総基礎生産を測定するが、前者が瞬間の総基礎生産の値を一日あたりに積分したものであるのに対して、後者は、この海域での表層混合層での酸素の平均滞留時間(およそ 10 日間程度)の平均的な一日当たり総基礎生産を与えている。

表 4.3.5 相模湾定点における各種方法による基礎生産の測定値の比較

Date	MLD	$O_{2\text{-incu}}$	triple O_2	FRRF	$H_2{}^{18}O$
3rd June 02	10	----	----	189.0	----
4th June 02	15	132.5 ± 7	252.5 ± 62	143.9	----
5th June 02	12	329.2 ± 16	----	305.9	----
August 02	20	162.7 ± 8	354.2 ± 63	----	----
October 02	20	84.3 ± 4	94.4 ± 22	----	----
22nd May 03	20	----	189.1 ± 58	----	----
23rd May 03	40	105.8 ± 5	196.9 ± 57	46.9	----
24th May 03	20	----	187.8 ± 59	114.6	----
28th Aug 03	9	78.8 ± 4	76.4 ± 18	78.8	67.1 ± 7
29th Aug 03	10	75.4 ± 4	120.7 ± 36	87.0	----
30th Aug 03	8	202.6 ± 10	195.5 ± 58	94.7	219.1 ± 22
23rd Apr 04	12	207.5 ± 10	237.2 ± 71	---	260.1 ± 26
25th Apr 04	10	222.1 ± 11	----	---	242.7 ± 24
18th Jun 04	10	87.1 ± 4	174.5 ± 52	50.3	153.3 ± 15
02nd Aug 04	10	73.8 ± 4	94.0 ± 28	---	91.4 ± 9

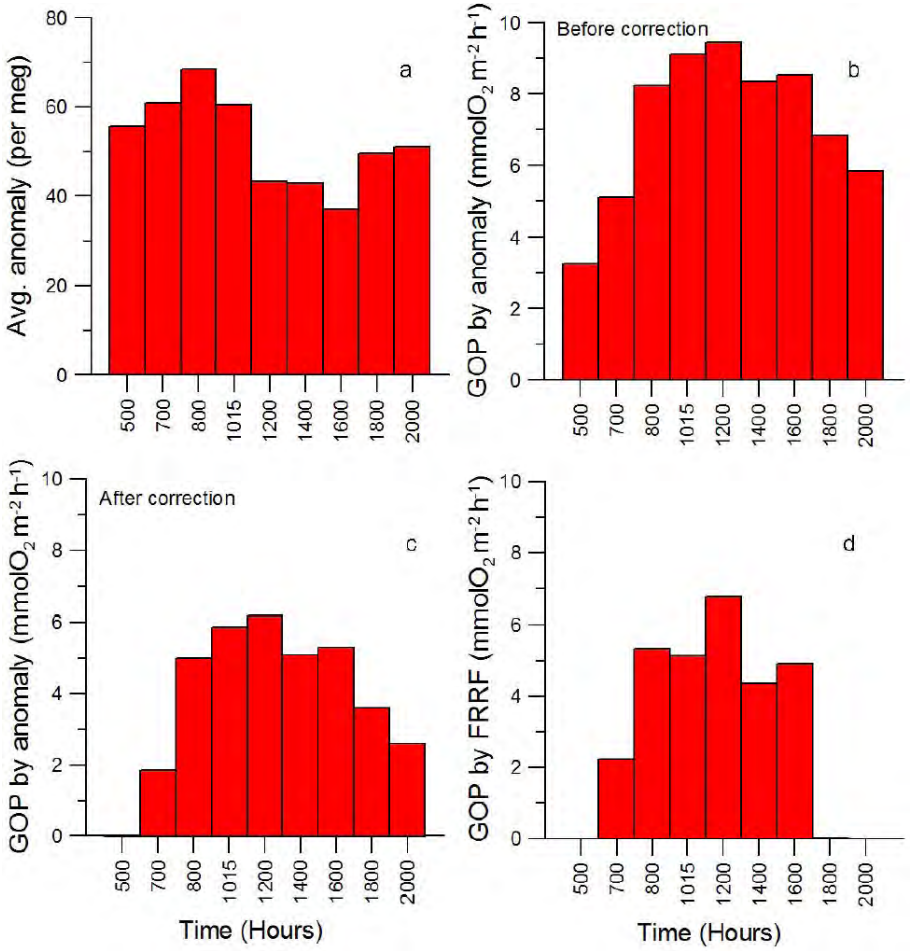


図 4.3.6 相模湾定点の表層混合層における酸素 17 同位体比異常の時系列変化、a)平均的同位体比異常、b)大気海洋ガス交換を補正して得られた酸素発生速度、c) 夜明け前の酸素発生速度を差し引いた、当日の酸素発生速度、d) FRRF によって測定された酸素発生速度

より直接的に FRRF の推定と酸素同位体比異常法による推定を比較するために、表層混合層における酸素 17 同位体比異常の時間経過を追跡した結果を図 4.3.6 に示す。図 4.3.6a の平均的な酸素同位体比異常の時系列変動は、おもに、総基礎生産に由来する酸素（同位体異常を増やす）と、大気との酸素交換（同位体比異常を減らす）に由来している。大気との酸素交換を風速等の気象データから推定することによって総基礎生産に由来する酸素を推定すると図 4.3.6bのような変化が得られる。ここに得られた酸素発生（Gross Oxygen Production)には、計測時以前にすでに作られていた酸素も残っているので、日の出前で計算された分を差し引いて、当日の GOP を求めてやると図 4.3.6cのような時間経過が得られる。一方図4.3.6dにはFRRF法によって求められたGOPを示しているが、図4.3.6cと良い一致が認められている。両者の測定法はある地点を通過する様々な水塊に関する時系列的な変動を見ているものであり、これらによい一致が見られているということは、FRRF による総基礎生産の推定が妥当なものであることを強く示唆するものである。

4.3.4 総基礎生産と純基礎生産

相模湾定点において、一日・水柱積算の総基礎生産と純基礎生産の関係を調べるために、2001 年 9 月から 2004 年 5 月までの毎月、^{13}C 法および酸素明暗ビン法によって培養実験をおこなった。その結果相模湾における総基礎生産と純基礎生産の比はおよそ 1:0.52 ±0.11 であった。この結果はいままで幅広い海域で得られた結果と類似している。夏季成層期と冬季循環期を区別すると若干の違いが見られ、前者で1:0.44、後者で1:0.57 となった。一方、文献によると、植物プランクトンの種によって一日当りの総基礎生産に対する呼吸の割合が異なっていることが知られており、この知見を利用して、相模湾の植物プランクトンの群集組成から次の式を用いて植物プランクトンの呼吸量を推定した：

植物プランクトンの呼吸量＝総基礎生産 x（0.21 x 珪藻の割合＋ 0.8 x 渦鞭毛藻の割合 ＋ 0.33 x その他の植物プランクトンの割合）.

この結果見積もられた相模湾の植物プランクトンの呼吸は総基礎生産とよい相関を示し（図 4.3.7）、その割合は31％と計算された。この値は今までの文献値ときわめてよく一致している。^{13}C 実験で測定される純基礎生産が総基礎生産のおよそ50％とすると、残りの20％は ^{13}C 法の固有の問題である、ろ液への溶存有機物の漏出である可能性が高い。

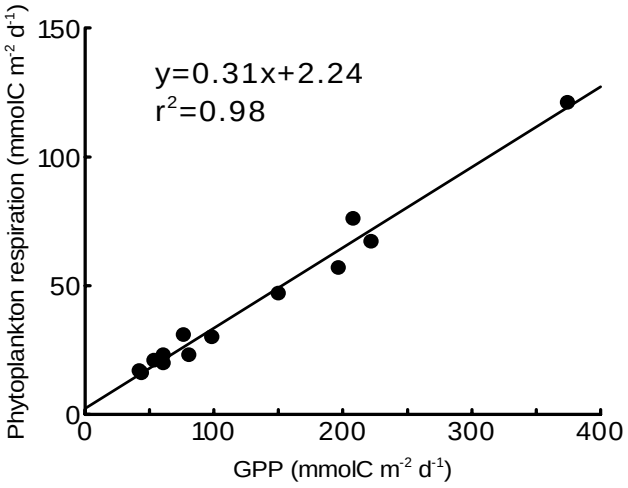


図 4.3.7 相模湾における植物プランクトンの呼吸と総基礎生産の関係

4.3.5 自動昇降ブイ搭載の FRRF 計測による一日・水柱積算純基礎生産の推定

これまでの観測及び室内実験から、FRRF法が瞬時の総基礎生産を測定できること(上記)や、高頻度なFRRF鉛直測定を行うことにより、1日・水柱当たりの総基礎生産においても、従来(ボトル培養)法による1日当たりの総基礎生産と比較的近い値を得られることがわかってきた。今後の長期的な自動昇降ブイ係留を視野に入れると、ブイの負担を軽減するために、1日のブイ稼動回数をできる限り少なくする必要があり、少ない昇降回数から1日当たりの総基礎生産を推定しなければならない。そこで、将来的なブイの実運用を視野に入れ、1～2回程度のFRRF鉛直測定から1日当たり、水柱積算総基礎生産を推定するアルゴリズムの開発を試みた。

検証データの取得は2003-4年の東京大学海洋研究所研究船、淡青丸による計6回の相模湾中央部観測において、船上ウインチによる吊下げ方式でFRRF光学観測を4時から20時まで2時間おきに行った。得られたFRRFデータを時間積算して得た計8日間の1日あたり深度積算総基礎生産を基準値(実測値)とした。これに対し、まず今回は、1日の基礎生産への寄与率が最も高かったと考えられる日中(12時)のFRRF鉛直データのみによって1日・水柱当たりの総基礎生産を推定することを試みた。

図4.3.8にFRRFの測定に基づく日・水柱積算総基礎生産の推定のフローチャートを示す。図中に赤で示した関係式を定式化できれば天空照度の時系列データとクロロフィルa鉛直分布を用いて求める基礎生産を算出することができる。

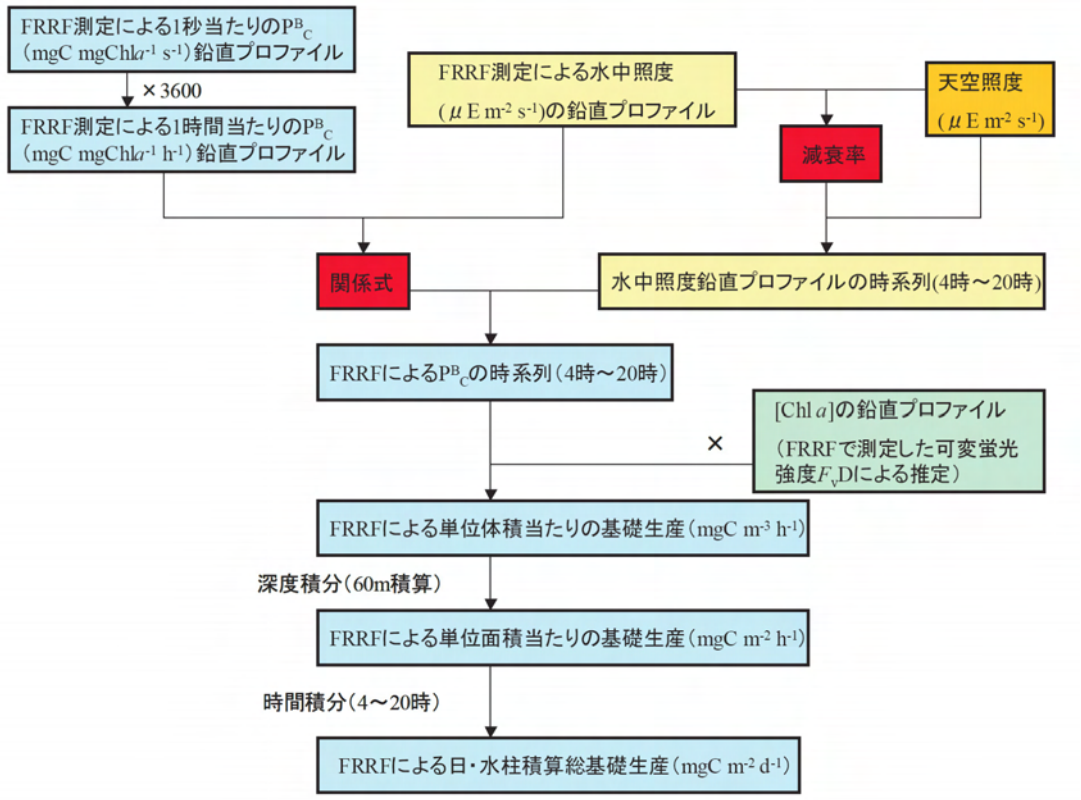


図 4.3.8 FRRF 測定によって日・水柱積算総基礎生産を求めるためのフローチャート

4.3.5.1 水柱当たりの光合成-光曲線による推定法

海洋の植物プランクトン量当たりの基礎生産は、理論的には、光強度の関数として示されるため、ある現場海域の水中照度に対する基礎生産の関係、即ち水柱レベルでの植物プランクトン群集全体としての光合成ー光曲線の関係式を得ることができるならば、上述の関係式として使うことが可能である。そこで、まず第一

の試みとして、正午のFRRF鉛直測定で得られた1時間・クロロフィルa濃度当たりの基礎生産と水中照度の関係に着目したところ低光域の光の増加に伴う基礎生産の増加や、強光域での基礎生産の減少傾向が見られた(図4.3.9)。これは相模湾中央部表層域において、光合成の光阻害が起こっている可能性を示唆している。この水中照度と基礎生産の関係に対して、様々な式による近似を試みた結果、図中の回帰式を用いた場合、比較的良い相関係数が得られた(R^2=0.79)。

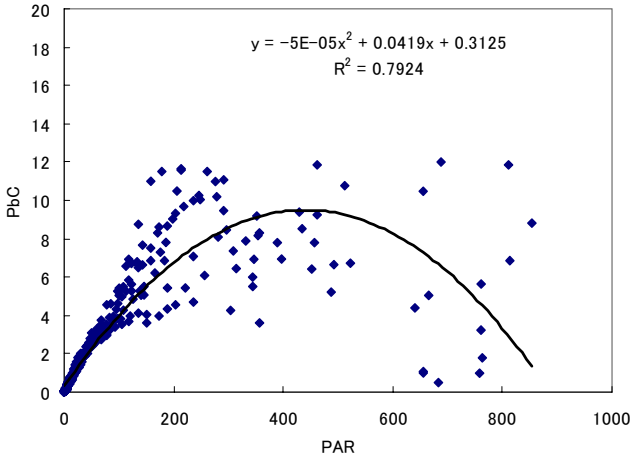


図 4.3.9 相模湾における FRRF プロファイルデータから求めた光−光合成曲線

一方、天空の PAR 照度の時系列記録に、海水中の PAR の減衰率として正午の測定値を採用できると仮定すれば、各時刻における水中 PAR の深度分布を算出することができ、さらに光一光合成の関係式を用いて、各時刻におけるクロロフィル当りの総基礎生産を求めることができる。これに対して、夜間20:00のデータを使って求めた、FvD とクロロフィルの関係式を使って、単位海水当りの総基礎生産を求め、深度、時間について積分することで日・水柱積算総基礎生産が推定される。このようにして求めた推定値と実測値を表 4.3.10 で比較している。測定値の幅が狭く、データ数が少ないために意味のある統計かどうかには疑問が残るが、第一の試みとしては満足すべきものと考えている。この推定値に 0.52 を掛けることにより、純基礎生産が推定される。

表 4.3.10 総基礎生産の推定値と実測値

測定日	実測値	推定値	推定/実測
	mgC/m2/day		%
2003/05/23	1293	1334	1.03
2003/05/24	1080	1048	0.97
2003/08/28	1330	1165	0.88
2003/08/29	1483	1107	0.75
2003/08/30	1195	1409	1.18
2004/06/18	1451	1155	0.80
2004/06/19	2819	2234	0.79
2004/08/02	1756	1097	0.62

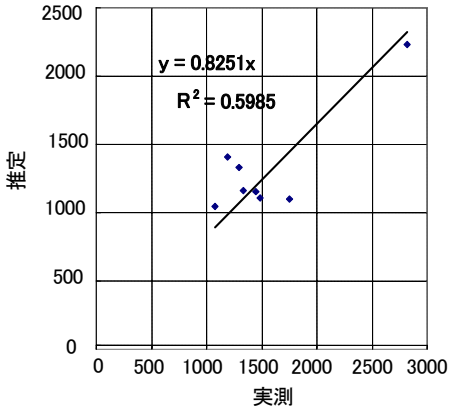


図 4.3.11 総基礎生産推定値と実測値

4.3.5.2 水柱の光利用インデックスを利用する推定法

海洋における1日・水柱当たりの基礎生産を見積もるための、単純な方法の一つとして、水柱光利用INDEX Ψを用いる方法がある。Ψは、1日・水柱当たりの基礎生産(mgC/m2/day)を、積算植物プランク

トン量(mg/m^2)及び日射量(E/m^2/day)で除算したもので、水柱の光利用効率を示す指標として知られている。もしΨが一定値と仮定できるならば、植物プランクトン量及び日射量を見積もれば、1日、水柱当たりの基礎生産は算出できる。Platt(1986)は、Ψは0.3 ～ 0.7程度変化するのみと報告しているが、Ψはより大きく変化するという近年の報告もある。そこで、これまでの相模湾観測により得たデータから、Ψと他のパラメータの関係を調べ、Ψによる1日・水柱当たりの基礎生産推定の可能性を検討した。

相模湾観測で得られたΨは0.3-1.0と、比較的狭い範囲に入った。また、天空照度とΨの関に図4.3.12 の式の関係が見られた。Ψの光に対するこのような依存性の原因の解明は次の課題であるが、この関係式で得られるΨから推定した1日・水柱当たりの基礎生産推定値は、表4.3.13に示されるように、実測値と比較的近い値が得られた。

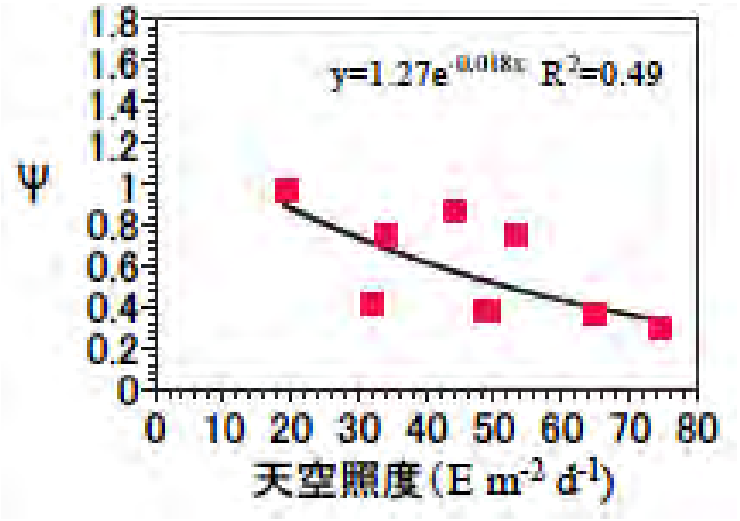


図 4.3.12 水柱光利用インデックスと天空照度の関係

表 4.3.13 水柱光利用インデックスと天空照度の関係を利用した日・水柱積算総基礎生産の推定結果

測定日	クロロフィルa mg/m2	天空照度 E/m2/day	ψ 実測値	ψ 推定値	実測基礎生産 mgC/m2/day	推定基礎生産 mgC/m2/day	推定/実測
2003/5/23	56	65	0.4	0.4	1293	1423	1.10
2003/5/24	50	74	0.3	0.3	1080	1226	1.14
2003/8/28	71	19	1.0	0.9	1330	1218	0.92
2003/8/29	58	34	0.8	0.7	1483	1344	0.91
2003/8/30	89	32	0.4	0.7	1196	2023	1.69
2004/6/18	77	49	0.4	0.5	1451	1968	1.36
2004/6/19	71	53	0.7	0.5	2819	1822	0.65
2004/8/2	45	44	0.9	0.6	1732	1134	0.65
mean ±SD					1548±550	1520±361	

4.3.5.3 P^b_{opt}深度のFv/FmとΨの関係を用いた推定法

Ψは、上記のように1日・水柱当たりの基礎生産を、日射量及び、植物プランクトン量で除算しており、水柱当たりの光合成の量子収率という意味を持っている。そこでFRRFにより測定可能な植物プランクトンの光合成の量子収率（Fv/Fm)や、光合成有効光吸収断面積（σ_{PSII})などの光合成に関する生理パラメータにより、Ψの表現が可能であるか検討してみた。その結果、植物プランクトン当たりの基礎生産が最も高いP^b_{opt}の深度のFv/FmとΨの間に、やや正の直線関係が見られた(図4.3.14)。この関係によるΨを用いて、1日・水柱当たりの基礎生産を算出した結果、今回示した3つの方法の中では、最も推定

値のばらつきが大きかったが、最大でも1.6倍程度の誤差で1日・水柱積算総基礎生産を推定できた(表4.3.15)。今後、このような関係を調べていくことで、FRRF鉛直測定で得られる、ある深度における生理パラメータから、水柱の平均的な生理パラメータ(状態)を推定できるかもしれない。

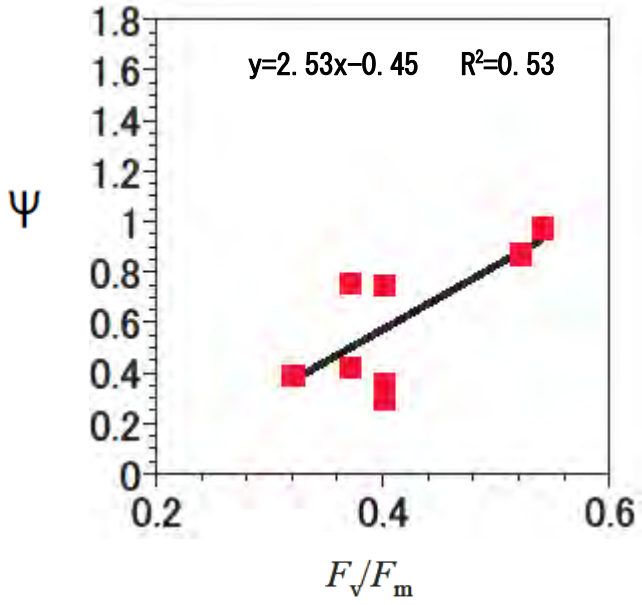


図4.3.14 水柱光利用インデックスと光合成量子収率との関係

表4.3.15 水柱光利用インデックスとFv/Fmの関係を利用した日・水柱積算総基礎生産の推定結果

測定日	Fv/Fm	Ψ		基礎生産(mgC/m2/day)		
		実測値	推定値	実測値	推定値	推定/実測
2003/5/23	0.4	0.4	0.6	1293	2036	1.57
2003/5/24	0.4	0.3	0.6	1080	2078	1.92
2003/8/28	0.54	1.0	0.9	1330	1254	0.94
2003/8/29	0.37	0.8	0.5	1483	956	0.64
2003/8/30	0.37	0.4	0.5	1196	1386	1.16
2004/6/18	0.32	0.4	0.4	1451	1348	0.93
2004/6/19	0.4	0.7	0.6	2819	2116	0.75
2004/8/2	0.52	0.9	0.9	1732	1724	1.00
mean ±SD				1548±550	1612±438	

4.3.6 酸素 17 同位体比異常法による大気海洋ガス交換速度の推定

4.3.3.2 節で述べたように、我々は大気海洋ガス交換速度を実測することによって、酸素 17 同位体比異常の結果に基づいて基礎生産を推定した。短時間スケールの酸素 17 同位体比異常の計測と比較することにより、それは FRRF の測定とよい一致を示すことを図 4.3.6 で示した。したがって、逆に、将来 FRRF によって総基礎生産が精度よく測定できるならば、基礎生産のピークイベントを解像できる FRRF の高頻度の時系列データを、酸素の滞留時間スケール程度の酸素 17 同位体比異常の計測と組み合わせることによって、逆にその時間スケールでの大気ー海洋ガス交換速度を実測的に求めることが可能になる。本節ではこのような可能性の例として、淡青丸での結果を紹介する。

図 4.3.16 に 2004 年 6 月の淡青丸航海において得られた、午前 4 時から午後 18 時の間の風速、お

よび酸素 17 同位体比異常、クロロフィル a の深度分布の時間経過を示す。明け方には風速が 3-4m/秒程度であったが、午前 8 時ころから風速を増し、10 時から 18 時の間 10m/秒を越える風が吹き、夜になって収まった。酸素 17 同位体比異常は午前 4 時にはほぼ有光層に対応する 40m 付近までおよそ 100 per meg と一定の値をとっている。夜明け後、6 時から 14 時にかけて有光層下部の同位体比異常は 150 per meg まで増大し、18 時過ぎまでほぼ一定の値が持続した。表層混合層の同位体比異常は 08 時に 110 per meg 程度に上昇したものの、風速が強まるにしたがって 80 per meg まで低下した。クロロフィルの鉛直分布では亜表層極大層が 10-20 m の混合層下部に存在している。クロロフィル a の極大層の下部に高い酸素 17 同位体比異常が現れていることがわかる。

表層混合層の下方に高い同位体比異常が存在するために、混合層内での同位体異常の収支にとって、下方からの同位体比異常の供給を無視することはできない。このため、我々は時系列の観測において二つの観測の間に下方から供給(あるいは除去)された同位体比異常を

$$^{17}O\ ano_{mix}=(Sbano-MLano)\cdot Z_{ML}/Z_{ML}$$

と算出した。また、水平方向に同位体比異常の勾配があると、水平方向の移流も考慮する必要があるのでこれを検討した結果、今回の観測ではこれは無視できることがわかった。

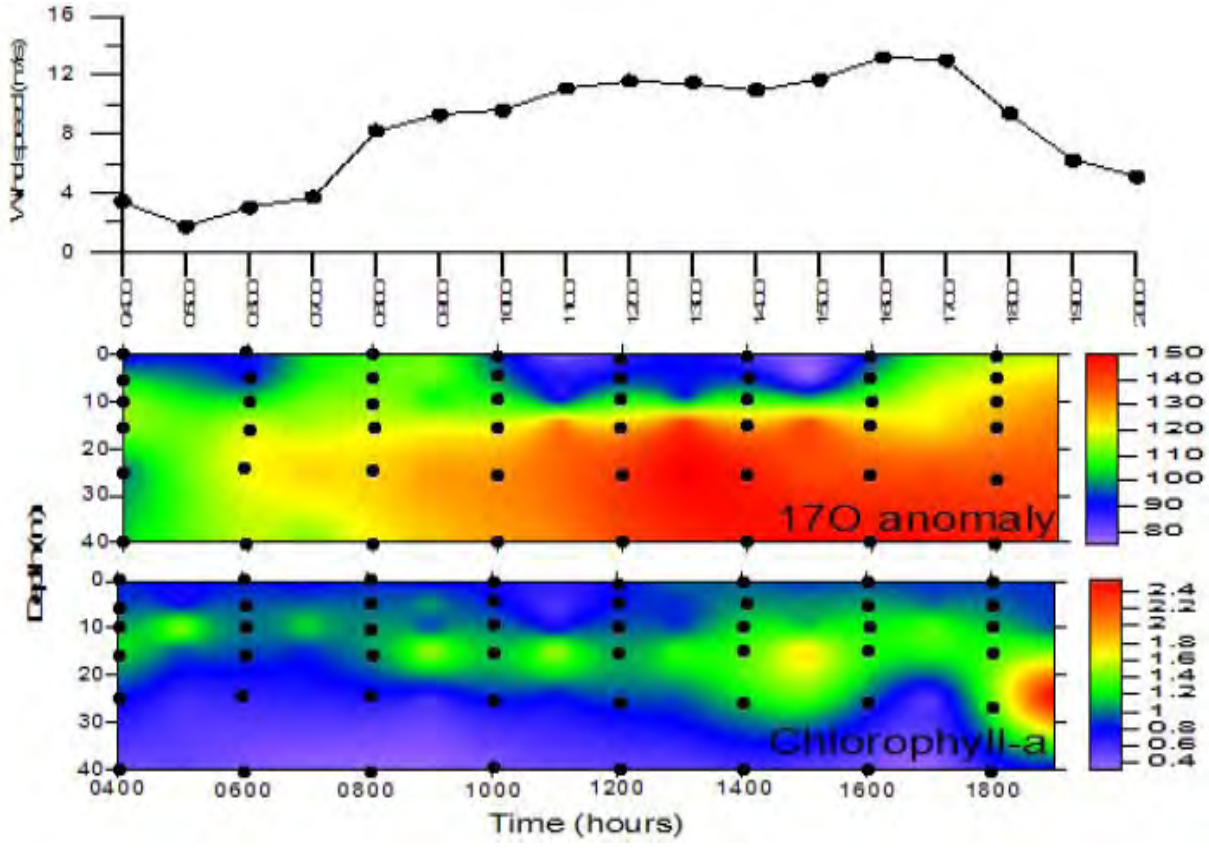


図 4.3.16 相模湾定点時系列観測における風速(上)、および酸素 17 同位体比異常(中)、クロロフィル a の鉛直分布。

この観測時における 2 時間おきの FRRF の計測データを用いて混合層内部の基礎生産を推定し、有光層下部からの同位対比異常の供給を補正した酸素 17 同位体比異常を用いてガス交換速度を計算した結果を図 4.3.17 に示す。FRRF の計測における仮定の中で検証が困難でかつ結果への影響が大

きいのがクロロフィル a 総量に占める、実際に蛍光を発している、光合成系 II の反応中心の数である。これは通常の珪藻を主体とする群集の場合およそ 500 分子に1つであり、シアノバクテリアを主体とするばあいはおよそ 300 分子に1つと言われている。ここでは、反応中心のクロロフィル a を 300 分子、500 分子、600 分子に1つの 3 つのケースを想定してガス交換速度を試算した。

その結果、300 分子に 1 つと過程した場合に、Wanninkhof の推定と良い一致を示すことがわかった。なお、フローサイトメータによる観察や植物色素組成からみるとこのときの観測点における植物プランクトンの個体数の 70%がシアノバクテリアであることが確認された。

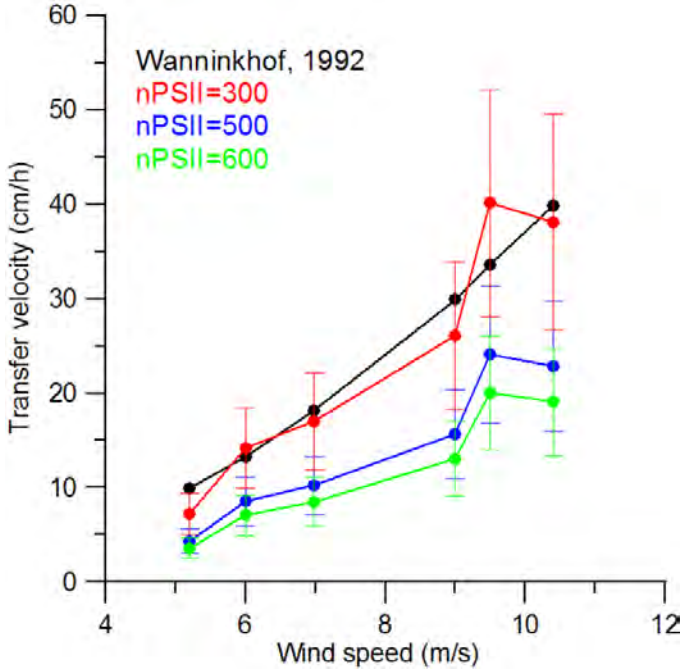


図 4.3.17 FRRF の実測値と組み合わせた酸素 17 同位体比異常の結果から推定される大気−海洋ガス交換速度。FRRF の測定に関する最大の不確定要因である、光合成系 II 反応中心の1個当たりのクロロフィル分子の数を 300、500、600 の 3 つの場合について計算を行った。

4.3.7 現状と課題

現時点において、本題である、1 日 1，2 回の昇降計測により純基礎生産を推定するアルゴリズムに関してはやっと着手できた状態である。アルゴリズムの開発に必要なデータベースもまだまだ不十分であり、将来的にまだまだ改善の余地を残している。今後実運用を開始して、長期間のデータセットが得られるようになれば、よりよいアルゴリズムを開発することができるだろう。今回の試みにくわえて、FRRF で測定される生理学的パラメータを直接取り込んだ形でのアルゴリズムを作りたいと考えているが、このためにも実運用を通してのデータベースの拡充が不可欠であり、これは将来の課題として残されている。

基礎生産の推定に必要なパラメータのうちクロロフィル a の鉛直分布に関しては、当初搭載した分光放射計PRR800のデータをニューラルネットで処理して求める手法を開発した。この手法はかなり満足できる結果が得られて、すでに特許申請中であるが、ブイシステムの運用上PRR800の搭載をあきらめたことによって急遽FRRFの暗室の可変蛍光FvDによって推定する手法を開発した。当初の予測と異なり、午後 20 時のFvDはクロロフィル a と良い相関を示すのにたいし、午前 4 時のFvDは殆どクロロフィル a と相関を示さなかった。この原因の詳しい解析はこれからの課題であるが、この解析を通じてクロロフィル a 鉛直分布のより良い推定法を探すとともに、基礎生産アルゴリズムに取り込むべき光合成の生理学的パラメータを探すことができることを期待している。

4.3.8 研究成果の今後期待される効果

気候変化に対する海洋の生物過程の応答とフィードバックのメカニズムを考えるときにもっとも大きな課題となっているのは，大気―海洋の二酸化炭素フラックスの推定である．これに対処するために，海洋の基礎生産や表層二酸化炭素分圧に関する観測体制の整備が世界的な協同計画の下で進められているが，大気―海洋気体交換速度の推定に関しては手詰まりであるというのが現状であり，新たな手法の導入が緊急の課題となっている．

本研究において特筆すべきは、総基礎生産の検証法として酸素 17 同位体比異常法を開発し、実用に供したことである。これによって今まで客観的な尺度が無かった総基礎生産を直接 FRRF 法と比較できるようにしたことは大きな成果と考えている。この手法では大気－海洋における酸素交換速度を実測することによって海水中の酸素発生速度（総基礎生産）を推定するものであるが，研究の進展とともに FRRF 法による推定の精度が向上し，逆に大気―海洋の酸素交換速度を見積もることが可能になってきた．この方法によると，酸素 17 同位体比異常を観測した空間スケールとその空間スケールにおける酸素の滞留時間の時間スケールでの平均的な大気―海洋気体交換係数を求めることができる。この方法を FRRF の計測によって検証された衛星基礎生産データと、酸素の滞留時間スケールで観測された酸素 17 同位体比異常のデータに適用することによって、衛星データに対応した時間・空間スケールでの大気ー海洋気体交換速度を求めることが可能になるであろう。筆者は本研究と並行して、宇宙開発研究機構の ADEOS-II プロジェクトにおいて、人工衛星による表面水温とクロロフィルａのデータから海洋表面の二酸化炭素分圧を推定するアルゴリズムを開発しているので、大気ー海洋気体交換速度を得ることができれば直ちに、衛星データをから大気ー海洋の二酸化炭素フラックスを推定することが可能になる．

本研究において「パンドラの箱」は結局開かずに終わった。これは^{14}C(^{13}C)法が何を測っているかという基本的問題を避けて通ったということではない。本研究では実験海域である相模湾において足掛け 3 年間の継続的な観測を通して ^{13}C法が基本的に純基礎生産に近い値を与え、それが総基礎生産のおよそ半分程度であることを確認し、また植物プランクトンの群集組成を知ることによって総基礎生産と純基礎生産の差が定量的に説明できることも確認した。さらに、総基礎生産と純基礎生産の関係を調べるために$^{13}CO_2$トレーサー法、$H_2{}^{18}O$トレーサー法、酸素明暗ビン法、FRRF法、酸素 17 同位体異常法など現在利用できるすべての手法を駆使した結果、我々としては「パンドラの箱」を開くことは必ずしも、海域現場での純基礎生産を推定するのに直結する問題ではないと結論したためである。本研究の結果、培養実験に基づく測定は海域の基礎生産を推定する手法としてはふさわしいものではなくて、むしろ培養によらない手法である、FRRFによる瞬時の測定、あるいは酸素 17 同位体比異常法による平均化された測定がお互いに矛盾しない値を与えることがわかった。すなわち、^{14}C(^{13}C)O_2培養実験によって得られた基礎生産の値は厳密に検証できるものではなく、測定者による手法の違い等様々な要因によって相互の比較も困難であるため、特にデータの均一性、継続性が求められる人工衛星データの検証のためには不適当なものである。我々としては、培養実験の不要なFRRFによる測定は測器を適切に校正することによって客観的な計測値を与え、またこれはガス交換速度の実測とあわせた酸素 17 安定同位体比異常の計測で検証できるので、今までの^{14}C(^{13}C)O_2の培養実験に替えてFRRF法を衛星データの検証の目的に用いることを提唱するものである。

4.4 衛星データ利用のための検討

本研究は、人工衛星からの基礎生産データを利用することを目的としている。このために、宇宙機関から提供された基礎生産データを検証するだけではなくて、衛星海色データからより確からしいクロロフィル a や基礎生産をもとめるためのアルゴリズムの開発も実施した。また、これを円滑に実施するために必要なデータシステムの構築も行った。

4.4.1 POPPS データシステム

本プロジェクトでは、FRRF による基礎生産測定法のアルゴリズムを開発するために、沿岸臨海実験施設および、船舶による海洋観測実験をおこなっている。また、ブイシステムの運用に伴い、各種実時間データも取得する。これらのデータは品質管理を行い、データベースを構築した。さらに、これらのデータをプロジェクト参加者に円滑に配布するためにウェッブベースのデータシステムを試作・運用した。

4.4.1.1 実時間データ

ブイシステムを運用すると、毎日 1,2 回、基礎生産、温度、塩分の深度分布データが転送されてくる。これらを人工衛星データを用いた PAR の推定値とあわせて自動的に処理し、ウェッブに掲示している。図 4.4.1 にこの概要を示す。

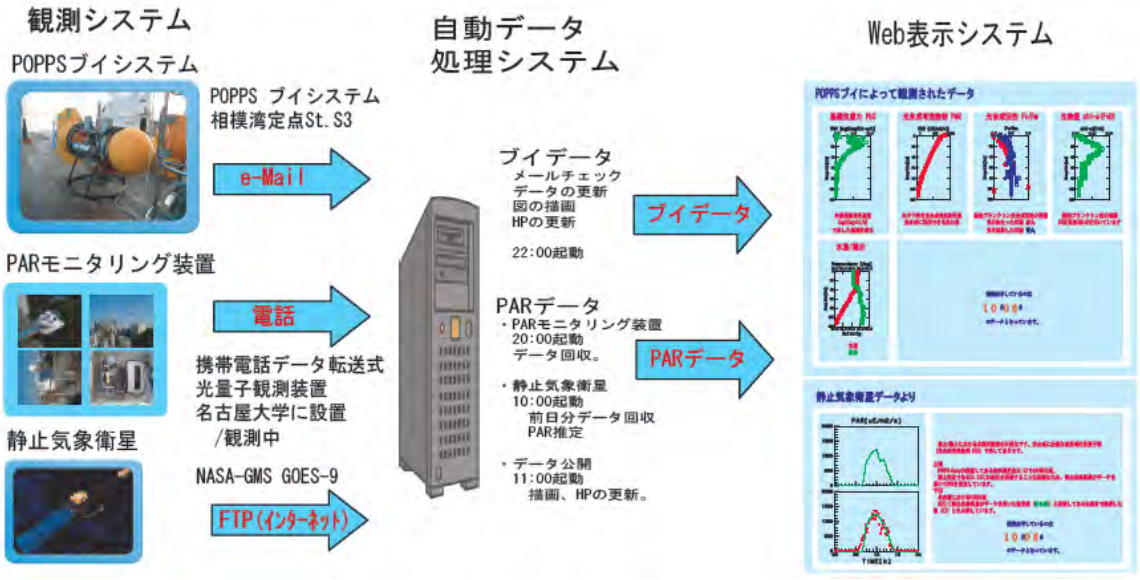


図 4.4.1　実時間データ処理、表示システム

4.4.1.2 非実時間データ

本研究では、海域における現場観測、野外実験で取得したデータをデータベースとして共有することが重要である。とくに船舶観測では短時間の間に多種のデータを定型的に処理し、それを現場で眺め、次の観測に反映させることが貴重な観測時間を有効に利用するために求められている。我々はこのために可能な限り取得データを定型処理するためのマクロ、プログラムを作成した。これらはまた、ウエッブを利用した本データシステムの上で、自動的にデータ処理をおこない、表示するためのソフトとして利用されている。

また、繰り返し行われる観測、実験の間でデータの継続性を保つことが、データベースの品質を維持するために重要である。このことはとくに光学的な観測で重要であり、我々は定期的に測器を校正、点検に出し、その履歴を管理している。

これらのデータは現在プロジェクト内に公開しているが、将来的には完全に公開することを考えている。

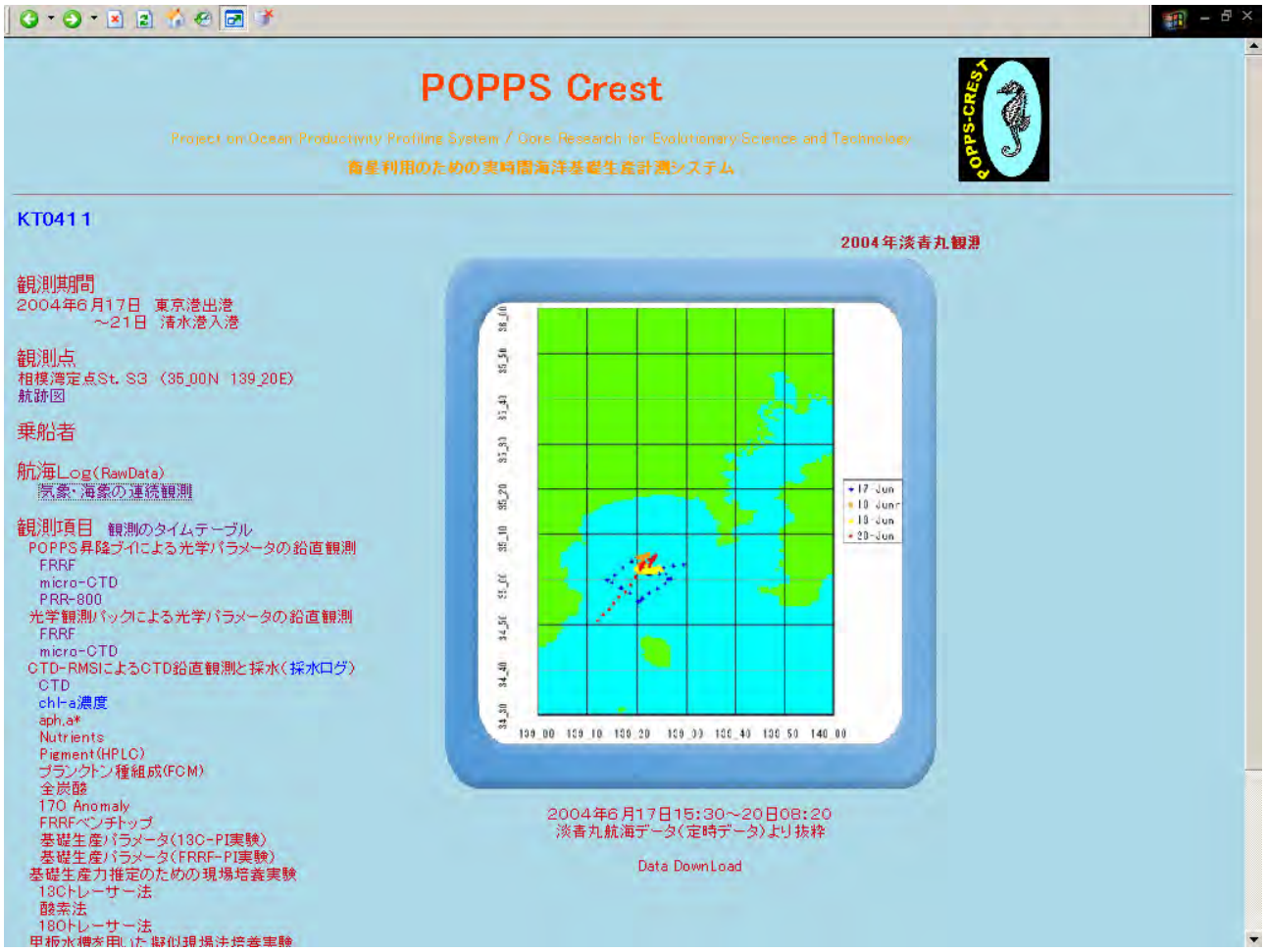


図 4.4.2 船舶観測データの保管と表示の例
データの内容を視覚的に確認し、生データを取り出せるようになっている。

4.4.2 クロロフィル a 推定アルゴリズム

本研究実施中の 2001 年 12 月にわが国の衛星 ADEOS2に搭載された海色センサーGLI の運用が始まった。GLI は前世代の OCTS や SeaWiFS に比べて多数の観測波長を持っており、新しいアルゴリズムを開発することにより、より精度よくクロロフィル a や基礎生産を推定できるようになった。我々は実験海域の相模湾でこのための検討を行った。

4.4.2.1 相模湾測点 S3 における CDOM

GLI によって、水色からクロロフィル a を推定するときの不確定要因であった、光吸収性の有機物質 CDOM(colored dissolved organic matter)を推定できるようになった。この検証作業を相模湾のブイ設置点 S3 において 2001 年 12 月より 2004 年 3 月まで新たに開発した長光路長分光吸光計で実施した。

実測された CDOM の吸収 $a_y(\lambda)$は波長が増加するにつれて指数関数的に減衰している(図 4.4.3)。ここでsは，減衰係数である。sの値は，0.00652 から 0.0172，平均 0.01163±0.002536 であ

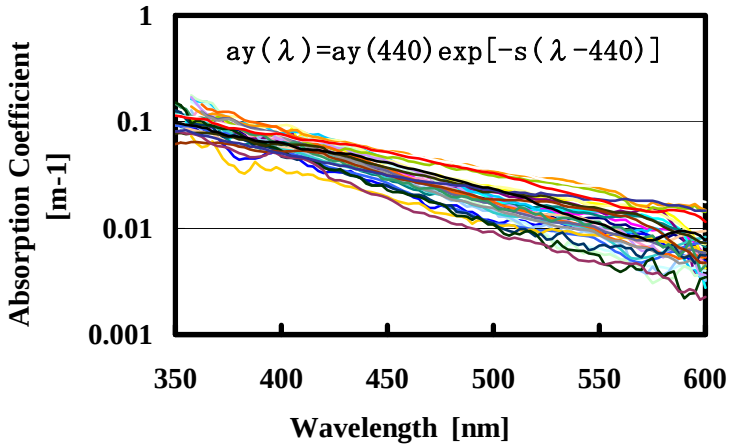


図 4.4.3　相模湾測点 S3 における CDOM の分光分布

った。大きな a_y ほどsの値は小さく，小さな a_y ほど大きい傾向が見られる。a_y (440) の値は，0.022 から 0.059 の範囲にあり，平均 0.040 であまり大きな差が無かった。

相模湾に影響を与えている東京湾について見ると，sの値は，0.00861 から 0.02626 まで変化し平均 0.0137±0.00276 と多少大きい値であった。また，a_y (440) の値は湾内でも場所と季節により大きく変わり，0.020 から 0.533 までの大きな値を示した。このような CDOM は，相模湾における海色リモートセンシングの水中アルゴリズムに影響していると考えられる。

4.4.2.2 相模湾の水中アルゴリズム

水中アルゴリズムの検証のため，PRR-800 にて上方向分光放射照度の測定を行ない，得られた値から GLI 各バンドにおける正規化海水射出放射輝度 nLw を求めた。相模湾の1点だけの観測値では，クロロフィル濃度の範囲が小さいうえ相模湾の沿岸域まで考慮すると，東京湾の値も入れたほうがよりよい水中アルゴリズムの検証が出来ると思われる。測点を図 4.4.4 に示す。

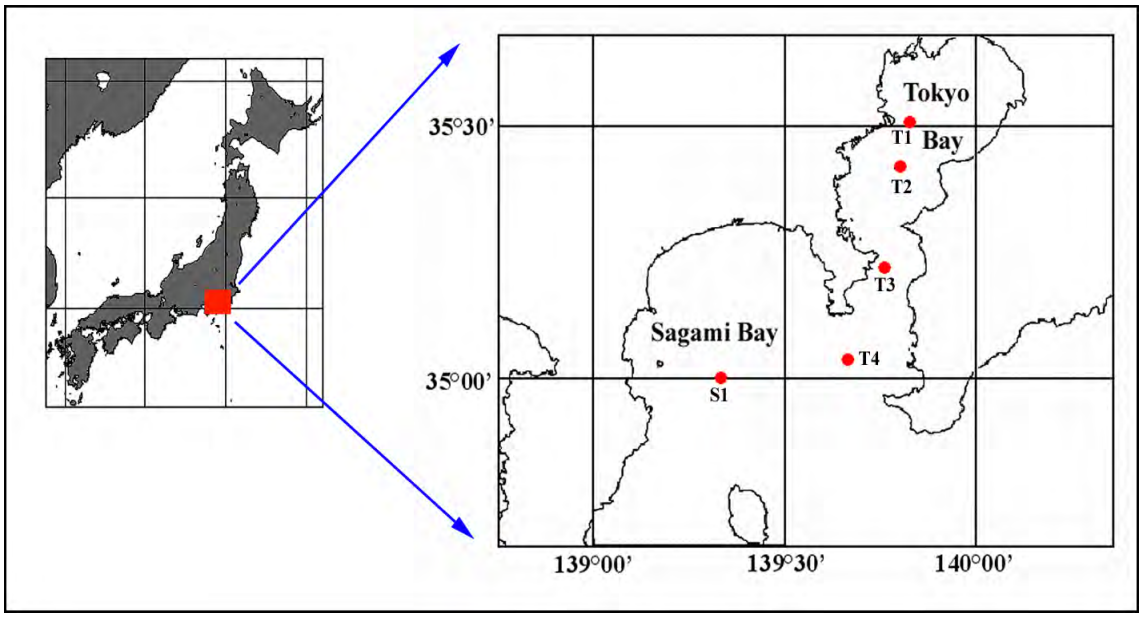


図 4.4.4　相模湾および東京湾における観測点

検証に用いた正規化海水射出放射輝度 *nLw* は，かなり大きな範囲でスペクトルの大きさと形を変えていた(図 4.4.5)。

GLI の標準アルゴリズムは O'Reily et al (1998)が SeaWiFS 用に作成した OC4 アルゴリズムを GLI 用に改良した、最大バンド比を用いたアルゴリズムで、以下のような式で書くことが出来る(OC4-GLIv3)。

$$Chla = 10\text{^}(0.531 - 3.559R + 4.488R^2 - 2.169R^3) - 0.230,$$

ただし

$$R = \log_{10}[nLw(443) > nLw(460) > nLw(520) / nLw(545)]$$ である。

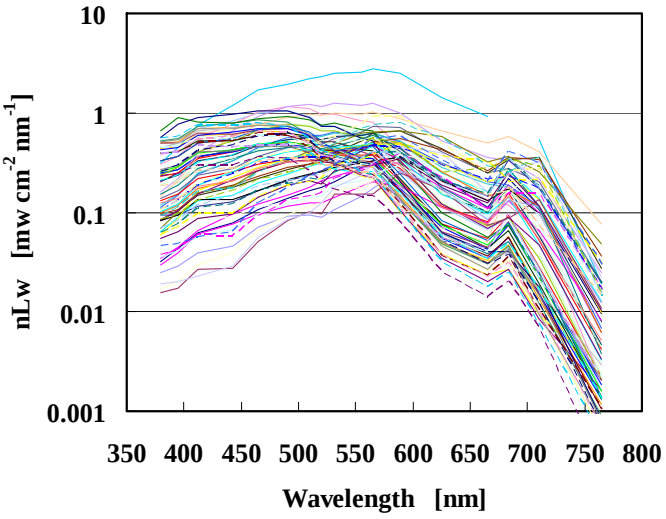


図 4. 4. 5　検証に用いた正規化海水射出放射輝度

また，同時にクロロフィル *a* 濃度の測定を行い、正規化海水射出放射輝度より推定したクロロフィル *a* 濃度を比べた(図 4.4.6)。

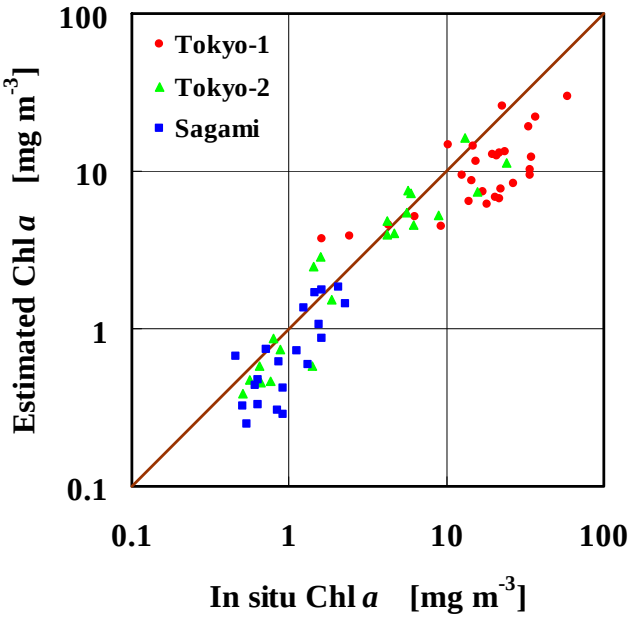


図 4.4.6　相模湾・東京湾で得られた現場と *nLw* から求められたクロロフィル *a*　赤点：東京湾湾奥(Stns. T1, T2)，緑色：東京湾湾口(Stn. T3, T4)，青色：相模湾(Stn. S1)

その結果，図 4.4.6 に示すように多くの点が 1:1 のラインより下に，言い換えると現場の値より小さく推定していた。また，点の傾向が全体として上に凸の分布になっている。推定された値は，平均的に見ると約半分になっている。

そこで，誤差を少なくするために，得られた *nLw* から OC4-GLIv3 アルゴリズムの係数を修正した。相関および得られた曲線の形から次式を選んだ。結果を図 4.4.7 に示す。測定値はかなりばらついて，下に凸の形になっている。1次式で回帰した場合，ある程度相関はよいが，下に凸を表現できない（図中青いライン）。2次式による回帰では，下に凸を表現でき，相関も良くなっている（図中赤いライン）。3次式より上の次数まで行ってみたが2次式のラインがもっとも良い結果であった。得られた2次式で，クロロフィルを求め，標準アルゴリズムの結果と比較した（図 4.4.8）。

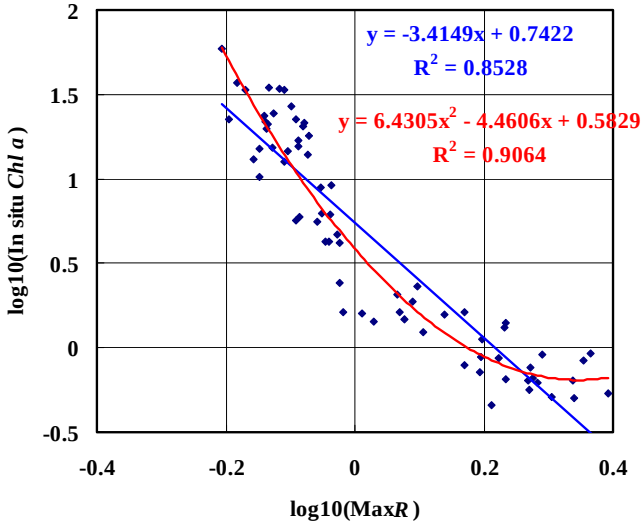


図 4.4.7 最大輝度比と現場クロロフィル濃度の相関青：1次回帰式，赤：2次回帰式

得られた相模湾・東京湾向けアルゴリズムは次式で表すことが出来る。

$$Chla = 10\text{^}(0.5829 - 4.4606R + 6.4305R^2)$$

ここで

$$R = \log_{10}[nLw(443) > nLw(460) > nLw(520) / nLw(545)]$$ である。

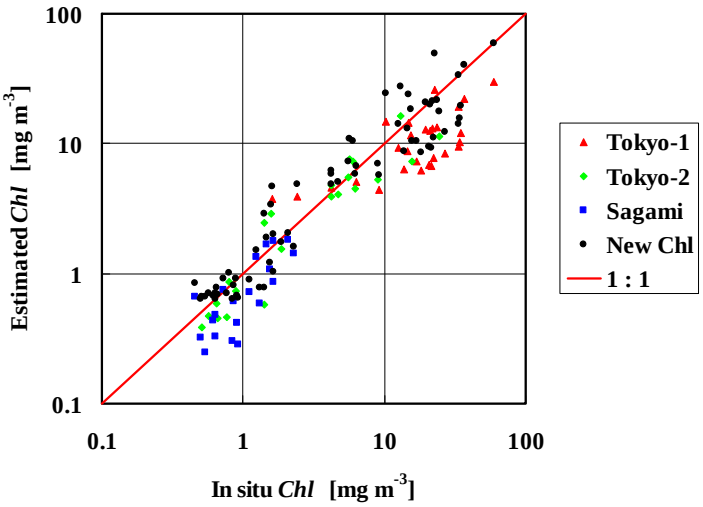


図 4.4.8 新しく開発したクロロフィルアルゴリズムの相模湾・東京湾における検証結果

4.4.3 基礎生産推定アルゴリズムの改良

衛星基礎生産モデルでは，一般的に人工衛星によって海表面のクロロフィルa濃度，水温，日射量を測定し，そこから一日あたりの有光層積算基礎生産量(IPP)を求める。現在のところ，^{13}Cや^{14}Cを用いた数時間から一日間の培養法で求めた値に合うようにモデルのパラメータを選定する手法がとられている。衛星基礎生産モデルに関しては，石坂(2000, 2002)や石坂ら(2000)にまとめた。

様々のモデルがある中で，最近ではBehrenfeld and Falkowski (1992，これ以降B&F)が提唱した鉛直積算モデル(VGPM)が，その単純さからもっともよく利用されている。B&Fは以下の式でIPPを表している。

$$IPP = 0.66125\, P^{B}_{opt}\, [PAR / (PAR + 4.1)]\, Z_{eu}\, Chl\, D_{irr} \qquad (1)$$

ここで P^{B}_{OPT}, PAR, Z_{eu}, Chl, $Dirr$ はそれぞれ，クロロフィルa あたりの基礎生産速度の鉛直方向での最大値，光合成有効放射，有光深度，表面クロロフィル量，日射時間である。

Kameda et al. (2000)とKameda and Ishizaka (2004)(これ以降K&I)では，B&Fが利用したアメリカの西海岸を中心とした基礎生産データベースに日本周辺で測定されたデータを加え，このモデルの最も重要なパラメータである P^{B}_{opt} に関してB&Fが提唱した水温依存性だけでなく，クロロフィルa 濃度依存性も存在することを明らかにした。そして，この水温依存性とクロロフィル a 依存性をともに考慮にいれ，水温依存性の異なる大小二種類の植物プランクトン群集で構成され，その現存量の変化は大型植物プランクトンによって起こることを仮定し，以下の2群集プランクトンモデルを提唱した。

$$P^{B}_{opt} = (0.071\ T - 3.2E{-}3\ T^{2} + 3.0E{-}5\ T^{3})/Chl + (1.0 + 0.17\ T - 2.5E{-}5\ T^{2} - 8.0E{-}5\ T^{3}) \qquad (2)$$

表 4.4.9 表面水温，クロロフィル a 濃度ごとの基礎生産データの分布

		クロロフィルa濃度（$\mu g\ l^{-1}$）				
		0.4–0.5	0.5–0.75	0.75–1	1–2	2–5
水温(℃)	14–16	1	3	1	1	2
	16–18	0	3	2	3	0
	18–20	2	1	3	1	1
	20–22	2	2	3	1	0
	22–24	2	1	1	0	1
	24–26	0	4	3	0	1
	26–28	1	1	2	0	0

そこで次に，このプロジェクトの一環として相模湾で^{13}Cを用いた培養法によって測定された基礎生産について，B&F と K&I の方法に関して検証し，相模湾に適したパラメータの選択を行い，そしてこのモデルと衛星データをもちいて相模湾での基礎生産を計算した。基礎生産データは，1999年から2003年に相模湾のS3点で^{13}Cを用いた1日培養法で測定された計49点のデータである。これらのデータは表面光が1%にまで減衰する有光層内7層で測定されたもので，有光層内の鉛直積算基礎生産値を求めた。同時に光合成有効放射(PAR)および水温のデータも取得されている。クロロフィル a と水温でのデータの分布は表4.4.9のようであり，水温は14度から28度，クロロフィルa濃度で0.4 $\mu g\ l^{-1}$ から5 $\mu g\ l^{-1}$ の範囲に分布している。

B&FおよびK&Iモデルとの比較結果を図4.4.10に示す。B&Fモデルで推定した鉛直積算基礎生産

量と実測値では相関係数は 0.659 であり，全体的に倍近くに過大評価をしており，RMSE が 1182 mg C m^{-2} day^{-1} と大きな値となった。また K&I に関しては，やはり相関係数は 0.638 と B&F と比較して変わらなかったが，過大評価はしておらず RMSE が 392 mg C m^{-2} day^{-1} であった。一方，これらのモデルで重要なパラメータと考えられる P^B_{opt} に関しては，B&F でも K&I でもほとんど現場値と相関がなかった（図 4.4.11）。

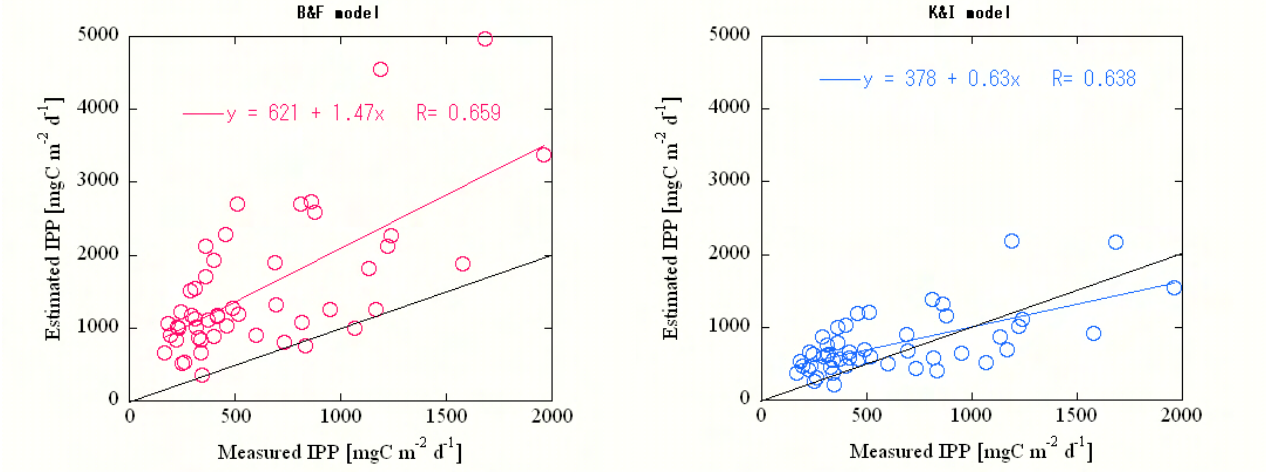


図 4.4.10 B&F（左）と K&I（右）モデルで推定した有光層積算基礎生産(IPP)の現場データとの比較

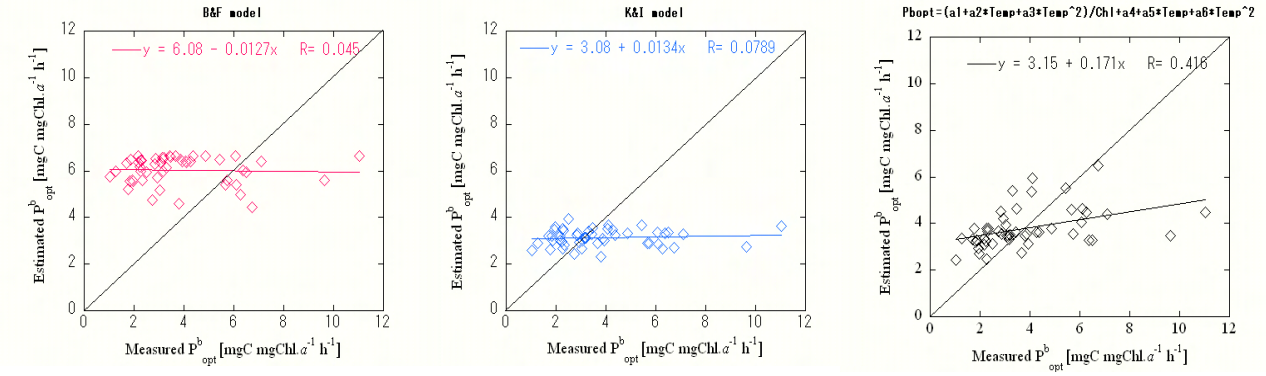


図 4.4.11 B&F（左），K&I （中），本研究 （右） で求めた P^B_{opt} と現場の P^B_{opt}

現場データの P^B_{opt} は水温および PAR との間に相関は見られなかったが，クロロフィル a 濃度の逆数とは相関が見られた（図 4.4.12）。クロロフィル a 濃度との逆相関が見られるということは，クロロフィル a 濃度が増加するにしたがって，クロロフィル a あたりの基礎生産の値が小さな一定値となり，クロロフィル a 濃度が減少するとクロロフィルあたりの基礎生産が大きくなるということを意味しており，K&I による 2 群集モデルの仮定に対応している。そこで，K&I の 2 群集モデルで，それぞれの植物プランクトン群集のクロロフィル a あたりの基礎生産速度の温度依存性を二次関数と単純化し，P_{Bopt} に非線形回帰を行った結果，以下の式を得た。

$$P^B_{opt} = (-12.2+1.17\ T - 0.025\ T^2)/Chl + (13.3 + 0.916\ T - 0.0191\ T^2) \qquad (3)$$

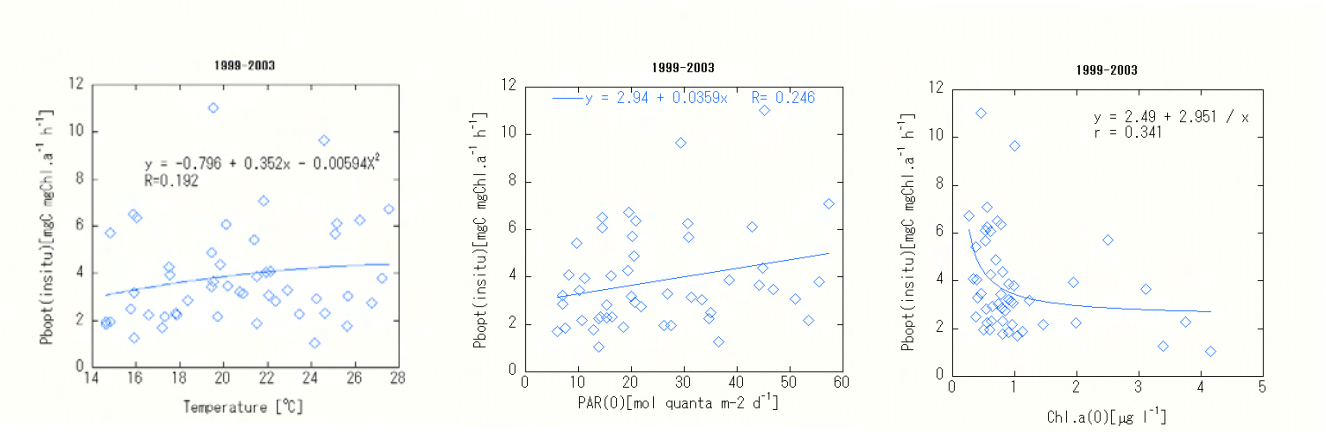


図 4.4.12　表面水温（左），PAR（中），表面クロロフィル a（右）と P^B_{opt} の関係

現場での水温とクロロフィル a の範囲では，より広い海域データを適応した K&I モデルと比較すると，同じ水温クロロフィル a 条件下で P^B_{opt} の変動が激しく，また最大値がやや高い水温の関数となった（図 4.4.13）。高いクロロフィル a 条件下で水温に対して凹型となったり，水温約 16 度で二種類の植物プランクトンのクロロフィル a あたりの生産速度が逆転するなど，回帰に利用したデータ数が少ないためと考えられる現象があった。また，推定値と現場値との相関係数 0.416 とまだばらつきは大きく，特に大きな値を再現できなかったものの，B&F や K&I と比較すると現場の P^B_{opt} をよりよく推定できる式を得ることができた（図 4.4.11）。ただし今後さらにデータを蓄積して，この式の妥当性を確認する必要がある。

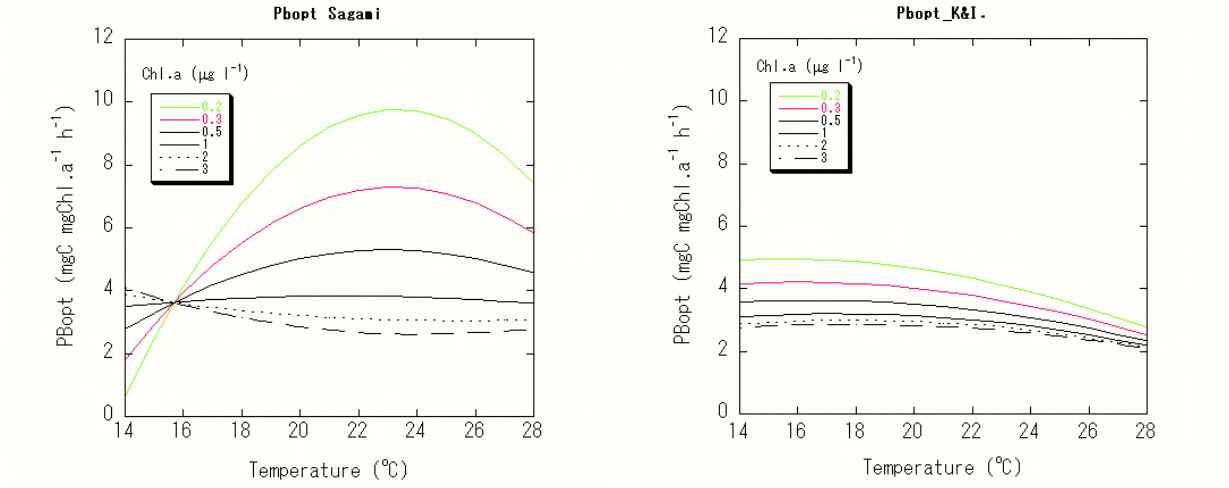


図 4.4.13　本研究の式（式3）で推定した P^B_{opt} と K&I 式（式2）で推定した P^B_{opt}

現場の P^B_{opt} と B&F の提唱した鉛直積算式を用いて積算基礎生産を推定しても，相関係数は 0.689 と，B&F や K&I とそれほど変わらなかったため，次に鉛直積算モデル自体の改良も行った。鉛直積算モデルには他にも Gong and Liu (2003)が東シナ海で提唱したモデル等もあったが，以下のような B&F の作成した式（式1）の形式を利用した非線形回帰によって，現場の鉛直積算基礎生産量と最もよい関係が得られた。

$$IPP=4.19\ P^B_{opt}\ DL\ PAR/(PAR+336)\ Chl\ Z_{eu} \qquad (4)$$

式(4)とB&Fのモデルの式(1)の違う大きな部分は光依存性を表す係数であり，この係数がB&Fの値と比較して2桁程度大きく，相模湾でのデータではB&Fのデータセットと比較して光依存性が非常に高いことが示された。これは相模湾の基礎生産データセットでは亜表層クロロフィルａ極大が存在することはまれであり，多くの場合表層にクロロフィル ａ 極大があったためと考えられる。今後さらにデータをためて，この式を確認する必要がある。

このようにして求まった相模湾モデルで求めた鉛直積算基礎生産量は，現場の P^{B}_{opt} を用いた場合相関係数が 0.865 と B&F の鉛直積算モデルを利用した場合よりはかなり改善されている。また，式(3)を利用した P^{B}_{opt} を用いると相関係数が 0.878 でほぼ同じぐらいとなり，RMSE も 247 mg C m^{-2} day^{-1} でもともとの B&F や K&I モデルと比較すると小さくなっている(図 4.4.14)。

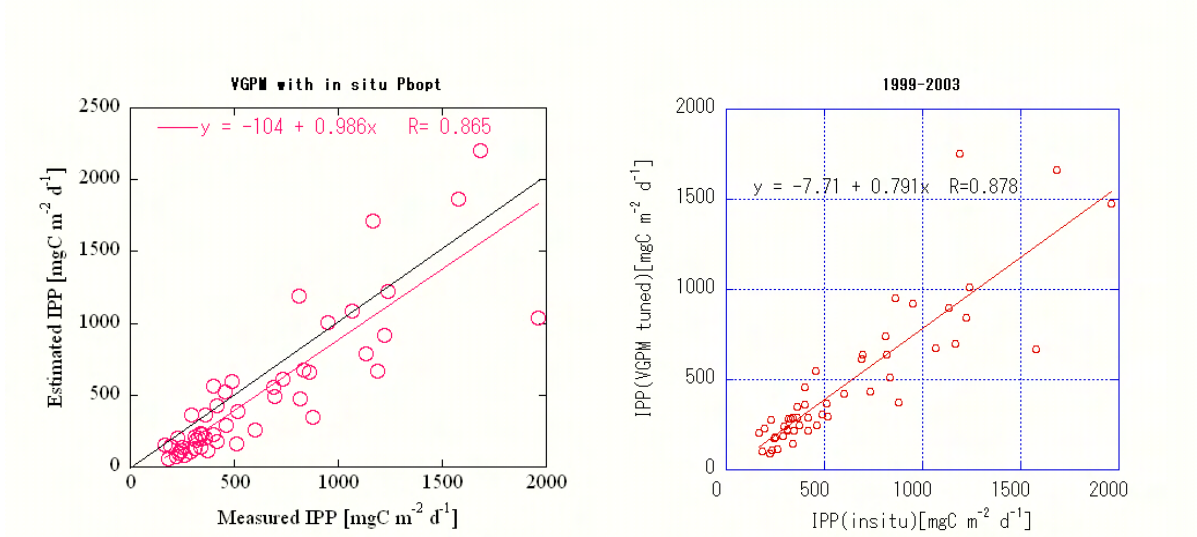


図4.4.14 モデルで求めた積算基礎生産量。現場の P^{B}_{opt} を利用した場合（左）と式（3）で推定した P^{B}_{opt} を利用した場合（右）

今回開発した相模湾モデルを用いて，相模湾の基礎生産を推定するに当たって，ここではアメリカの海色衛星センサーSeaWiFS のデータから NASA の標準法で求めた 2003 年の1kmの解像度のクロロフィル a 濃度および PAR を利用した。水温は NASA 人工衛星 MODIS データを利用した。図 4.4.15 に示すように，2003 年では SeaWiFS と MODIS の両方のデータがそろったのは，48 日間であった。基礎生産は明らかな季節変動を示しており，クロロフィルａ濃度，水温，PARいずれも低下する冬で少なく，3月後半から5月にかけて春季ブルームに対応した高い生産が見られ，夏場も湾奥では高い値となっていた。

S3 での時系列は明らかにこの季節変動を示している。しかし，実測の基礎生産と比較すると，2月，3月の2点の値はほぼ等しいものの，4月から8月の値に関しては，かなり衛星の値が大きくなっている。SeaWiFS データに基づいて計算した PAR と現場の PAR を比較すると，4月から8月にかけての現場の PAR は SeaWiFS で得られた PAR と比較すると明らかに小さく，この基礎生産の違いが PAR の違いによっていることがわかる(図4.4.16)。これはこの基礎生産モデルの光依存性が高いことによっており，相模湾の基礎生産の特質である。人工衛星のある時は晴天で PAR の大きい時に限られているため，衛星データのあるときだけを積算すると通年の基礎生産は少なくとも相模湾ではかなり過大評価になることが予想され，今後衛星データを用いて基礎生産を求める場合には注意が必要である。

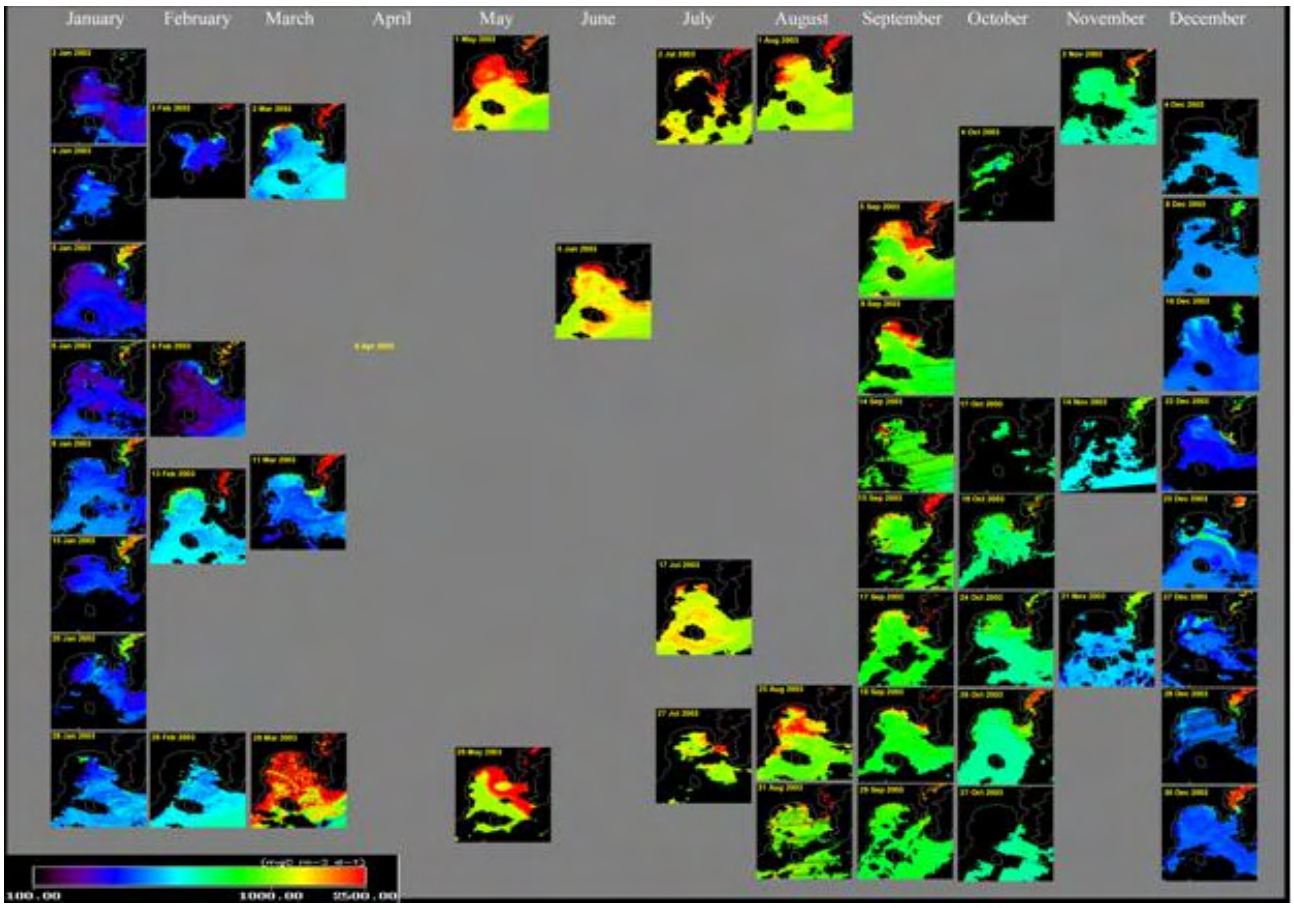


図 4.4.15 人工衛星 SeaWiFS と MODIS を用いた 2003 年相模湾の基礎生産 横は 1 月から 12 月月、縦は各月のはじめから終わりの順に並べてある。色調の違いから、相模湾において 3 月末から7月くらいまで基礎生産が高いことが伺われる。

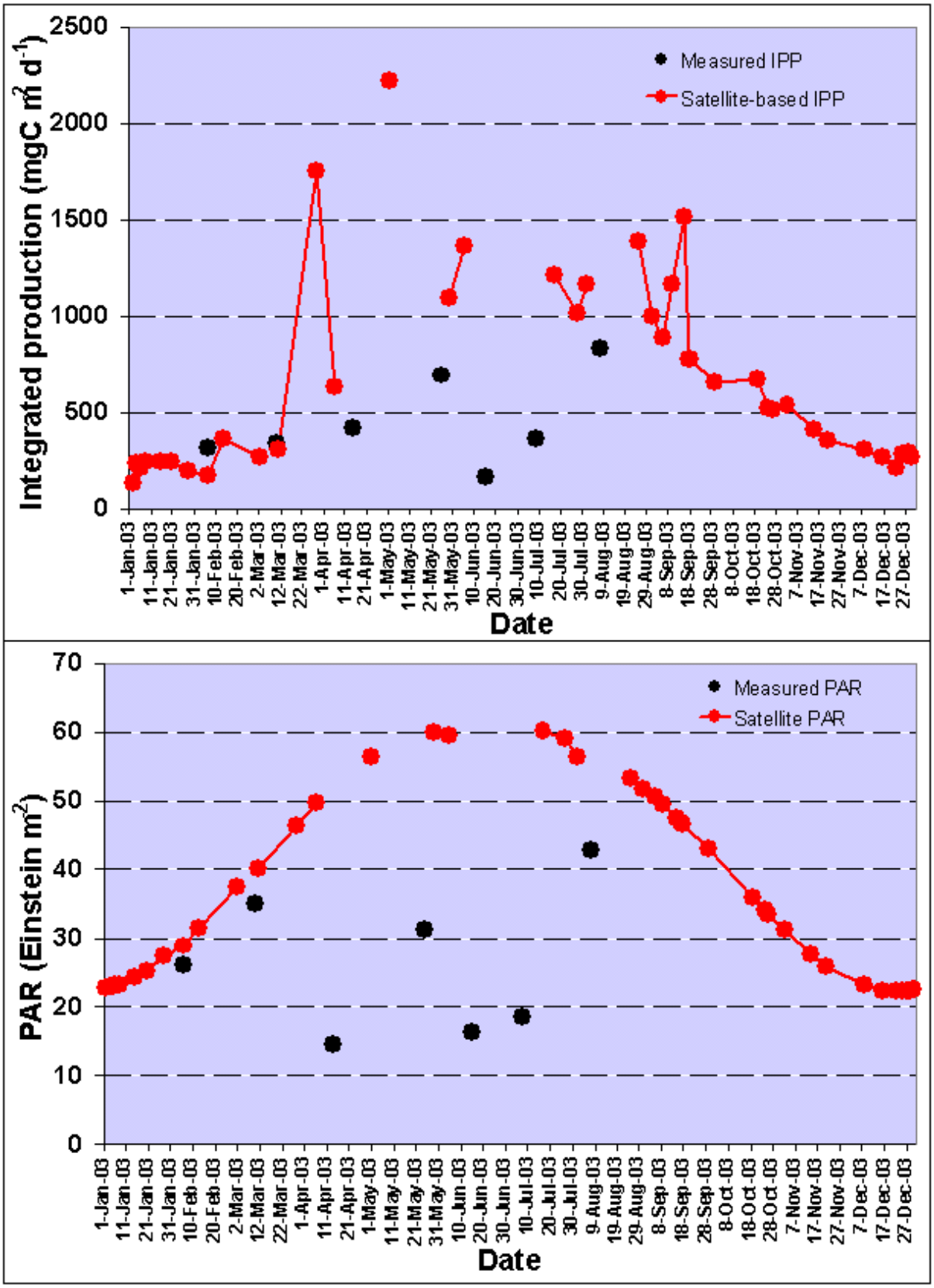


図 4.4.16 衛星で推定した 2003 年の S3 における積算基礎生産量の計時変化と現場観測データ

4.4.4 研究成果の今後期待される効果

今回，衛星で求めた基礎生産と現場で測定した基礎生産の間では，現場データにあわせたモデルを作成したにもかかわらず，衛星での基礎生産の値が大きくみつもられた。これはモデル自体の問題というよりも，衛星での基礎生産が晴天時に取られ，現場データの多くが曇天時に取られたことによっていた。船舶観測で衛星データのマッチアップを行うことは非常に困難であり，今後このプロジェクトで完成した基礎生産推定ブイを利用して，基礎生産の時系列データを求めることができれば，真に衛星基礎生産データと現場基礎生産のマッチアップを作成することが可能であり，曇天時に測定が困難な衛星データを用いて，正確な基礎生産を推定する手法を開発可能になると考えられる。

Yamada et al.（投稿中)は，現場データが少ないものの日本海ではK&Iモデルで P^B_{opt} も積算基礎生産量も比較的よくあうことを示している。一方，東シナ海の東側では K&I モデルでは P^B_{opt} が過小評価されるものの，積算モデルは B&F でよくあうことを示している（Siswanto and Ishizaka，準備中）。現在のモデルではこのように海域特性があるため，今後基礎生産データを蓄積しより普遍的なモデルを開発できる可能性もある。

さらにこの研究で開発されたブイにおいては，生理学的なパラメータを取得することが可能であり，それを用いて，より高度なモデルを開発することが可能になると考えられる。

4.4.5 参考文献

Behrenfeld, M.J. and P. G. Falkowski (1997) Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. Limnol. Oceanogr., 42, 1-20.

Gong, G.C. and G.J. Liu (2003) An empirical primary production model for the East China Sea., Cont. Shelf Res., 23, 213-224.

石坂丞二（2000）衛星観測による植物プランクトンの生物量と生産力の把握，月刊海洋号外，21，200-204.

石坂丞二・亀田卓彦・村上浩・浅沼市男（2000）人工衛星による地球規模の海洋基礎生産推定，海洋と生物，22，224-227.

石坂丞二（2002）海洋リモートセンシング　第 4 回基礎生産，日本リモートセンシング学会誌別冊，22，457-461.

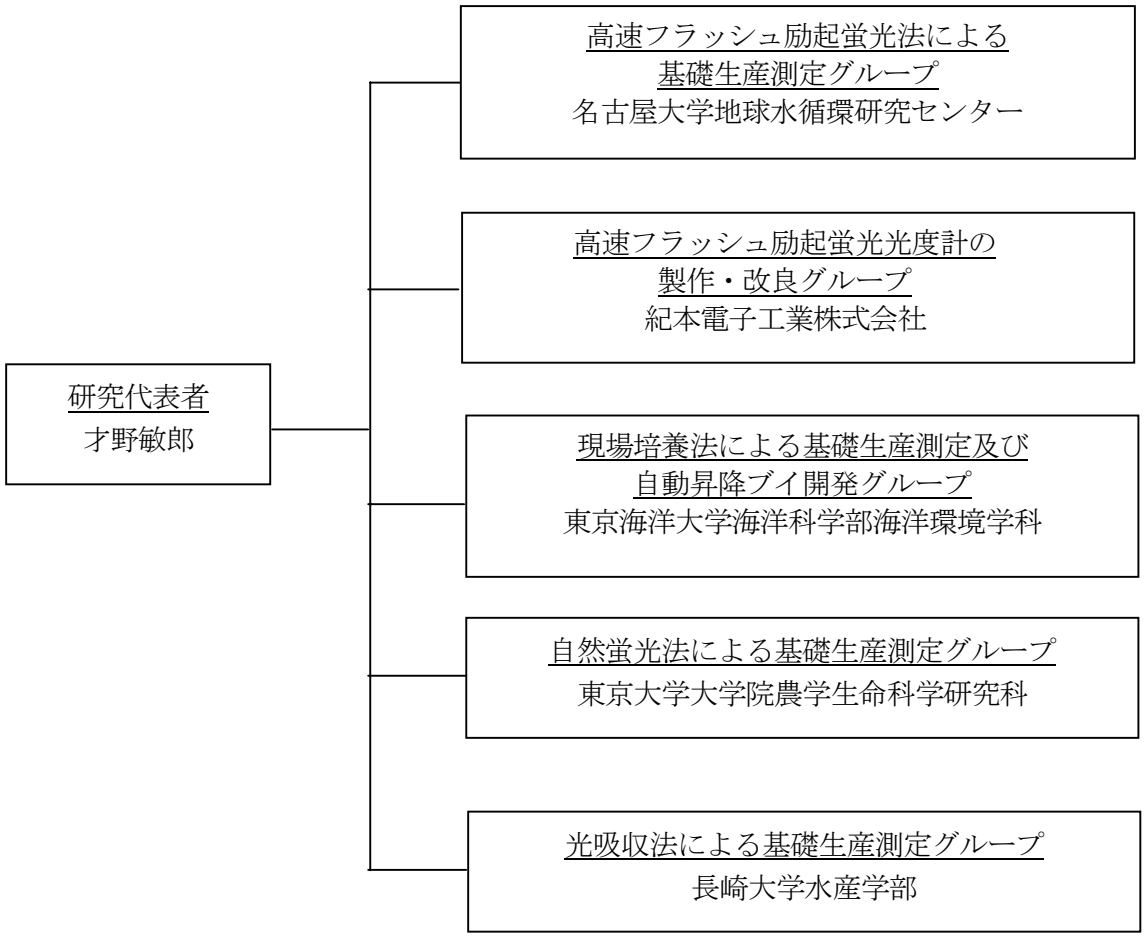
Kameda, T., J. Ishizaka, H. Murakami (2000) Two-phytoplankton community of primary production for ocean color satellite data. Hyperspectral Remote Sensing of the Ocean. Proceedings of SPIE. 4154, 159-165.

Kameda, T. and J. Ishizaka（印刷中）Size-fractionated primary production estimated by a two-phytoplankton community model applicable to ocean color remote sensing. J. Oceanogr.

Yamada, K., J. Ishizaka and H. Nagata (投稿中) Spatial and temporal variability of satellite estimated primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002.

５．研究実施体制

(1) 体制



(2) メンバー表

研究グループ名：高速フラッシュ励起蛍光法による基礎生産測定グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
才野敏郎	名古屋大学 地球水循環 研究ｾﾝﾀｰ	教授	全体の総括	平成 11 年 11 月～	
鈴木光次	〃	助手	光合成メカニズム解析 光合成色素分析・現場係留実験	平成 11 年 11 月～ 平成 14 年 11 月	
森本昭彦	〃	助教授	人工衛星データのデータ補間法	平成 15 年 11 月～	
三野義尚	〃 (平成15年3月まで名古屋大学大学院理学研究科)	助手 (平成 15 年 3 月まで博士課程後期学生)	光合成メカニズム解析	平成 13 年 3 月～	時給制研究補助員 -H15 3 月まで

Sarma, VVSS	名古屋大学 地球水循環 研究ｾﾝﾀｰ	外国人特別研究員 （平成16年9/26まで）	酸素同位体による総生産の推定	平成13年11月～	
	科学技術 振興機構	時給制研究補助員 （平成16年9/27～10/31）			
阿部　理	名古屋大学大学院環境学研究科	助手	酸素の質量分析法	平成13年11月～	
橋本慎治	科学技術 振興機構	研究員	総生産と純生産	平成13年8月～	
藤木徹一	〃	〃	ミニFRRFによる測定法の開発	平成14年8月～	
	（平成15年4月まで名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ）	研究機関研究員 （平成15年4/30まで）	〃		
保坂拓志	科学技術振興機構	技術員	現場係留実験の補助 データ解析の補助	平成12年2月～	
檜山知佐	科学技術振興事業団	研究補助員	質量分析及び光合成色素分析	平成13年1月～ 平成14年12月	
後藤直成	〃	時給制 研究補助員	光合成メカニズム解析 光合成色素分析	平成12年7月～ 平成13年3月	
松田久睦	科学技術 振興機構	〃	ガラス工作	平成14年6月～	
Smita Mitbavkar	〃	〃	相模湾のピコプランクトン	平成15年11月～	
加賀　円	科学技術振興事業団	研究チーム 事務員	研究事務サポート	平成12年1月～ 平成13年4月	
山本由美子	科学技術振興事業団	研究チーム 事務員	研究事務サポート	平成13年5月～ 平成14年7月	
渡辺絢子	科学技術振興機構	〃	研究事務サポート	平成14年7月～	
鋤柄千穂	名古屋大学大学院理学研究科	時給制 研究補助員	相模湾における移出生産	平成13年4月～	博士課程 後期学生
日沼　公	名古屋大学大学院環境学研究科	〃	日積算総基礎生産の推定と検証	平成13年4月～	〃
Jagadish S.Patil	〃	博士課程 後期学生	FRRFによる植物ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝの生理状態の推定	平成15年11月～	
宮下明珠	〃	博士課程 前期学生	相模湾における衛星画像解析	平成13年12月～ 平成16年3月まで	
齊藤誠一	北海道大学大学院水産科学研究科	教授	海水中粒子の光吸収	平成13年11月～	
宮村剛志	〃	博士課程 前期学生	海水中粒子の光吸収	平成13年11月～ 平成15年3月	
鈴木　仁	〃	博士課程 後期学生	海水中粒子の光吸収	平成13年11月～ 平成16年3月	
Steven Emerson	University of Washington	教授	海水中のガス代謝	平成14年9月～	

Paul G Falkowski	Rutgers University	教授	FRRF の利用に関する助言	平成 14 年９月～	
Maxim Gorbunov	Rutgers University	助教授	FRRF の製作に関する助言	平成 16 年 3 月～	
Zbignew Kolber	Monterey Bay Aquariam Research Institute	教授	FRRF データ処理に関する助言	平成 14 年９月～	
村上明男	神戸大学	助教授	FRRF の利用に関する助言	平成 15 年 4 月～	

研究グループ名：高速フラッシュ励起蛍光光度計の製作・改良グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
紀本　岳志	紀本電子工業	代表取締役社長	FRRF の改良と応用	平成 14 年９月～	
紀本　英志	〃	専務取締役	FRRF の改良・製作	平成 14 年９月～	
三谷　洋一	〃	技術課課長代理	FRRF の改良・製作	平成 14 年９月～	
徐　源重	〃	技術課員	FRRF の改良・製作	平成 14 年９月～平成 15 年３月	
鈴江　崇彦	〃	主任	FRRF の改良・製作	平成 14 年９月～	
津田　雅也	〃	技術課員	FRRF の運用・改良	平成 15 年５月～	
千賀　康弘	東海大学海洋学部	教授	標準光源による FRRF の検定に関する技術指導	平成 16 年１月～	

研究グループ名：現場培養法による基礎生産測定及び自動昇降ブイの開発グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
石丸　隆	東京海洋大学海洋科学部	教授	船舶運用 自動昇降ブイ開発	平成 11 年 11 月～	
山口征矢	〃	教授	現場法・擬似現場法実験	平成 11 年 11 月～	
佐藤博雄	〃	助教授	光学センサーによる測定	平成 11 年 11 月～	
田中祐志	〃	助教授	生物・光学データ解析	平成 11 年 11 月～	
神田穣太	〃	助教授	栄養塩動態の解析	平成 13 年５月～	
堀本奈穂	〃	助手	現場法・擬似現場法実験	平成 11 年 11 月～	・時給制研究補助員 -H12.1～H13.10 ・技術員 -H13.11～H14.3
岸野元彰	科学技術振興機構	時給制研究補助員	生物・光学データ解析	平成 13 年４月～	
喜多村稔	科学技術振興事業団	〃	海洋観測データ解析	平成 12 年５月～平成 14 年８月	
伊藤洋介	東京海洋大学海洋科学部	非常勤講師（平成 16 年３月まで東京水産大学水産学部大学院生）	海洋観測補助	平成 14 年５月～	時給制研究補助員-H16 3 月まで

松山弘明	東京水産大学 水産学部	時給制研究補助員	海洋観測補助	平成 14 年 4 月～ 平成 14 年 11 月	学部学生
松本祐子	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科	〃	海洋観測補助	平成 14 年 4 月～	博士課程前期学生
江本温子	〃	〃	海洋観測補助	平成 14 年 5 月～	〃
東　史翁	〃	〃	海洋観測補助	平成 15 年 1 月～	〃
品川牧詩	〃	〃	海洋観測補助	平成 16 年 4 月～	〃
橋濱史典	〃	〃	海洋観測補助	平成 14 年 5 月～ 平成 16 年 3 月	〃
渡部芙美	東京水産大学 水産学部	〃	海洋観測補助	平成 15 年 1 月～ 平成 15 年 3 月	学部学生
原　宏彰	〃	〃	海洋観測補助	平成 12 年 1 月～ 平成 12 年 2 月	〃
渡辺寛子	〃	〃	海洋観測補助	平成 12 年 1 月～ 平成 14 年 3 月	〃
松村　剛	東京水産大学大学院水産学研究科	〃	海洋観測補助	平成 12 年 1 月～ 平成 12 年 5 月	博士課程後期学生
中村巖哲	〃	〃	海洋観測補助	平成 12 年 1 月のみ	博士課程前期学生
千葉早苗	〃	〃	研究データの処理・解析	平成 12 年 1 月～ 平成 12 年 3 月	博士課程後期学生
佐野祐介	東京水産大学 水産学部	〃	海洋観測補助	平成 12 年 2 月のみ	学部学生
佐藤　力	東京水産大学大学院水産学研究科	〃	研究データの処理・解析	平成 12 年 4 月～ 平成 14 年 2 月	博士課程後期学生
吉田健一	東京水産大学 水産学部	時給制研究補助員	海洋観測補助	平成 12 年 4 月～ 平成 12 年 7 月	研究生
中川崇寛	〃	〃	海洋観測補助	平成 12 年 4 月のみ	学部学生
阿部洋平	〃	〃	海洋観測補助	平成 12 年 5 月～ 平成 14 年 3 月	〃
安藤大輔	東京水産大学 海洋環境学科	〃	海洋観測補助	平成 12 年 6 月～ 平成 12 年 12 月	研究生
大河内理恵	東京水産大学大学院水産学研究科	〃	海洋観測補助	平成 12 年 6 月～ 平成 14 年 3 月	博士課程前期学生
諸頭尚男	東京水産大学 水産学部	〃	海洋観測補助	平成 12 年 10 月～ 平成 14 年 3 月	学部学生
大村卓朗	東京水産大学大学院水産学研究科	〃	海洋観測補助	平成 12 年 12 月～ 平成 13 年 2 月	博士課程後期学生

研究グループ名：自然蛍光法による基礎生産測定グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
古谷　研	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授	自然蛍光法の改良 光合成メカニズム	平成 11 年 11 月～	
吉川　尚	近畿大学水産研究所 (平成 16 年 1 月まで東京大学ｱｼﾞｱ生物資源環境研究ｾﾝﾀｰ)	COE 博士研究員 (平成 16 年 1 月まで研究員)	自然蛍光法	平成 13 年 5 月～	
三木　周	東京大学大学院農学生命科学研究科	博士課程後期学生	光合成メカニズム	平成１４年 5 月～	
渡辺茂樹	東京大学大学院農学生命科学研究科	博士課程後期学生	光合成メカニズム	平成１６年４月～	
橋濱史典	東京大学大学院農学生命科学研究科 平成 16 年 3 月まで東京海洋大学水産学部	博士課程後期学生 平成 16 年 3 月まで博士前期学生	植物色素	平成１６年４月～	

畠山絵里奈	東京大学大学院農学生命科学研究科	時給制研究補助員	研究データの採集	平成12年1月のみ	博士課程前期学生

研究グループ名：光吸収法による基礎生産の測定グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
石坂丞二	長崎大学 水産学部	教授	衛星基礎生産アルゴリズム 衛星データ処理	平成11年 11月～	
伊藤哲也	長崎大学大学院生産科学研究	博士課程前期学生	生物光学データ解析	平成13年5月～ 平成14年3月	
エコ シスワント	〃	博士課程後期学生	生物光学データ解析	平成13年5月～ 平成15年3月	

６．研究期間中の主な活動

(1)ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成11年 2月27日- 12月28日	第1回研究ﾁｰﾑﾐｰﾃｨﾝｸﾞ	函館KKR	７名	第１回研究ﾁｰﾑﾐｰﾃｨﾝｸﾞ ※文部省科研費「縁辺海の海況予報のための海洋環境ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞの研究」班会議とあわせての実施
平成12年 1月7日- 1月8日	名古屋大学大気水圏科学共同研究集会「基礎生産のﾓﾃﾞﾘﾝｸﾞに関するﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ」	名古屋大学大気水圏科学研究所会議室	１８名	基礎生産のﾓﾃﾞﾘﾝｸﾞに関して現状をまとめ、今後の研究の展開方向を討議
平成12年 8月6日－8月12日	大槌臨海研究ｾﾝﾀｰにおける共同研究観測	東京大学海洋研究所大槌臨海研究ｾﾝﾀｰ	１９名	関係者全体会議及び基礎生産の測定法に関する共同研究観測実験の実施
平成12年 11月29日－11月30日	研究ﾁｰﾑ打ち合わせ	名古屋大学大気水圏科学研究所	２８名	平成12年度中間報告会
平成13年 3月7日－3月8日	研究ﾁｰﾑ打ち合わせ	名古屋大学大気水圏科学研究所	１８名	平成12年度報告会
平成13年 5月27日- 6月2日	大槌臨海研究ｾﾝﾀｰにおける共同研究観測	東京大学海洋研究所大槌臨海研究ｾﾝﾀｰ	１２名	関係者全体会議及び基礎生産の測定法に関する共同研究観測実験の実施
平成13年 9月5日－9月9日	KT-01-09次航海	東大海洋研究所淡青丸	１１名	名古屋港→横須賀港
平成13年 11月26日	研究ﾁｰﾑ打ち合わせ	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ	２６名	平成13年度中間報告会
平成14年 3月18日	研究ﾁｰﾑ打ち合わせ	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ	２２名	平成13年度報告会
平成14年 6月2日－6月7日	KT-02-06次航海	東大海洋研究所淡青丸	１１名	横須賀港→東京港
平成14年 8月30日－9月4日	KT-02-12次航海	東大海洋研究所淡青丸	１１名	清水港→東京港
平成15年 3月14日－3月15日	研究ﾁｰﾑ代表者会議	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ及び名古屋ｸﾗｳﾝﾎﾃﾙ	１２名	平成14年度の成果の取りまとめ及び平成15年度の計画調整
平成15年 5月22日－ 5月27日	KT-03-06次航海	東大海洋研究所淡青丸	１１名	横須賀港→東京港

平成15年 8月27日－9月1日	KT-03-13次航海	東大海洋研究所淡青丸	１１名	東京港→横須賀港
平成15年 10月16日-10月17日	CREST　POPPS全体会議	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ	３０名	平成15年度中間報告会
平成16年 3月11日	研究ﾁｰﾑ代表者会議	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ	１８名	平成15年度の成果取りまとめ及び平成16年度の計画調整
平成16年 4月22日- 4月26日	KT-04-05次航海	海洋研究開発機構 淡青丸	１１名	JAMSTEC岸壁→東京港
平成16年 6月17日- 6月21日	KT-04-11次航海	海洋研究開発機構 淡青丸	１１名	東京港→清水港
平成16年 7月29日- 8月3日	KT-04-15次航海	海洋研究開発機構 淡青丸	１１名	清水港→久里浜港
平成16年 9月10日	研究ﾁｰﾑ代表者会議	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ	２１名	各研究ｸﾞﾙｰﾌﾟの最新進捗状況報告及び最終報告書の体制、構成、執筆分担の確認

(2)招聘した研究者等

氏　名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Emerson,Steven (ﾜｼﾝﾄﾝ大学海洋学部・教授)	Emerson教授は海水中の酸素、窒素、アルゴンガスの変動に着目し、海洋の基礎生産をそれらから推定する研究で著名である。本プロジェクトでは、高速励起蛍光光度計によって測定した基礎生産を、さまざまな時間・空間スケールの基礎生産の推定と比較検討することを計画しており、既に研究海域である相模湾において酸素・窒素（＋アルゴン）の時系列測定を開始している。この過程でEmerson教授からは試料採取法、保存法、分析法に関する助言を受けているが、今回名古屋に招聘し、実地に技術指導を受けるために、名古屋大学に招聘した。	名古屋大学地球水循環研究センター及び北海道札幌市	平成14年9月26日～平成14年10月5日
Falkowski,Paul G. (ﾗﾄｶﾞｰｽ大学海洋地質学部・教授)	Falkowski教授は、海洋の基礎生産の研究の第一人者であり、また本プロジェクトで中心的な測器として使用し、さらに自作を開始したFRRFの開発者である。H14年度より、本プロジェクトに研究協力者として参加してもらっているが、招聘時において製作中のミニFRRFの製作が最終段階に入ったために、その段階での最終打ち合わせをするために招聘した。	名古屋大学地球水循環研究センター、紀本電子工業㈱及び東京水産大学	平成15年2月27日～平成15年3月9日
Maxim Gorbunov (ﾗﾄｶﾞｰｽ大学 沿岸・海洋科学研究所・助教授)	招聘時において開発を完了しつつある紀本製の水没型FRRFの最終性能試験に立会い、その評価および、将来の改造に対するコメントを求めた。すでに平成15年に藤木研究員が渡米して行ったベンチトップ型の開発・評価に携わっており、紀本製の機械をもっとも良く知る人物である。	名古屋大学地球水循環研究ｾﾝﾀｰ、紀本電子工業、日油技研工業及び東京海洋大学	平成16年3月19日～平成16年3月30日
Maxim Gorbunov (ﾗﾄｶﾞｰｽ大学 沿岸・海洋科学研究所・助教授)	招聘時において最終の現場係留実験に向けての準備を進めている、紀本製のミニFRRF、前回淡青丸航海での現場実験の結果に関するレビューをおこない、機械の動作条件、解析ソフトの動作条件等を設定し、必要な改造を行うための検討会に出席して、意見、コメントを求めるために招聘した。 当人は、ミニＦＲＲＦの開発にベンチトップ第一号機からかかわっており平成16年3月のミニＦＲＲＦの完成性能試験にも立ち会って、本機を最も良く知る人物である。	紀本電子工業㈱	平成16年9月20日～平成16年9月28日

７．主な研究成果物、発表等

（１）論文発表 （国内23件、海外88件）

Aranami, K., S. Watanabe, S. Tsunogai, M. Hayashi, K. Furuya, and T. Nagata (2001)

Biogeochemical variation in dimethylsulfide, phytoplankton pigments and heterotrophic bacterial production in the subarctic North Pacific Ocean during summer. *Journal of Oceanography,* 315-322.

Bricaud, A., C. S. Roesler, J. S. Parslow and J. Ishizaka (2002)

Bio-optical studies during the JGOFS-equatorial Pacific program: a contribution to the knowledge of the equatorial system, *Deep-Sea Res. Part II,* 49, 2583-2599.

Chen, Y.L.L., Chen, H.-Y., Lee, W-.H., Hung, C.-C., Wong, G.T.F. and J. Kanda. (2001)

New Production in the East China Sea, comparison between well-mixed winter and stratified summer conditions. *Continental Shelf Research,* 21(6/7), 751-764.

Chiba S, and T. Saino T (2002)

Interdecadal change in upper water environment altered spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 231, 23-35.

Chiba, S. and T. Saino (2003)

Variation in mesozooplankton community structure in the Japan/East Sea (1991.1999) with possible influence of the ENSO scale climatic variability. *Progress in Oceanography,* 57, 317-39

Chiba, S., T. Ono, K. Tadokoro, T. Midorikawa and T. Saino (2004)

Increased stratification and decreased lower trophic level productivity in the western subarctic North Pacific– a 30-year retrospective study – *Journal of Oceanography, 60,* 1, 149-162.

Chiba, S., Y. Hirota, S. Hasegawa and T. Saino (2004)

North-south contrast in decadal scale variations in lower trophic level ecosystems in the Japan Sea. *Fisheries Oceanography*, in press.

Fujiki, T.*, T. Toda, T. Kikuchi and S. Taguchi (2003)

Photoprotective response of xanthophyll pigments during phytoplankton blooms in Sagami Bay, Japan. *Journal of Plankton Research*, 25, 317-322.

Furuya, K. and K. Matsumoto (1999)

Cell cycle and growth rate of a natural diatom population in a mesocosm. *La mer*, 37, 111-119.

古谷 研（1999）

微生物食物網におけるピコ・ナノ植物プランクトン．*日本プランクトン学会報*、46、61−68.

Furuya, K., and T. Lirdwitayaprasit (2000)

Pigment composition of *Pedinomonas noctilucae* (Pedinophyceae), an endosymbiont of the green Noctiluca (Dinophyceae). *La Mer,* 38, 95-97.

Furuya, K., M. Hayashi, Y. Yabushita and A. Ishikawa (2003)

Phytoplankton dynamics in the East China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures. *Deep-Sea Research II,*50, 367-387

Furuya K. (2002)

Evaluation of Biological Productivity of Lower Trophic Levels and Carrying Capacity of Aquaculture Areas. *Fisheries Sciences*, 68 suppl., 542-545.

Furuya, K. (2003)

Environmental carrying capacity in an aquaculture ground of seaweed and shellfish in Northern Japan. pp.52-59. *In*: *Yu, H. and Burmas,N. (eds) Determining Environmental Carrying Capacity of Coastal and Marine Areas: Progress, Constraints, and Future Options.* GEF/UNDP/IMO-PEMSEA.

Furuya, K. (2004)

Environmental carrying capacity in an aquaculture ground of seaweed and shellfish in Sanriku coast. *Bull. Fish. Res. Agency,* Supplement , No. 1., 65-69.

Gomes, H.R., J.I. Goes and T. Saino (2000)
Influence of physical processes and freshwater discharge on the seasonality of phytoplankton regime in the Bay of Bengal. *Continental Shelf Research*, 20, 313-330.

Goes, J.I., T. Saino, H. Oaku, J. Ishizaka, C.S. Wong and Y. Nojiri (2000)
Basin scale estimates of sea surface nitrate and new production from remotely sensed sea surface temperature and chlorophyll. *Geophysical Research Letters*, 27, 1263-1266.

Goes, J.I., H. R. Gomes, A. Limsakul, W. Balch and T. Saino (2001)
El-Nino related interannual variations in biological production in the north Pacific Ocean as evidenced by satellite and ship data. *Progress in Oceanography, 49, 211-225.*

Goes, J.I., N. Handa, S. Taguchi, H.R. Gomes, and T. Saino (2001)
Effect of UV-B radiation on the pathways of carbon biosynthesis in marine phytoplankton and its implications for the marine ecosystem. *Verhandlungen of International Association of Theoretical and Applied Limnology*, vol 27,

Goes, J. I., K. Sasaoka, H. do R. Gomes, S. Saitoh and T.Saino (2004)
A comparison of the seasonality and interannual variability of phytoplankton biomass and production in the western and eastern gyres of the subarctic Pacific using multi-sensor satellite data. *Journal of Oceanography, 60,* 1, 75-91.

Goes, J. I., H. do R. Gomes, A. Limsakul and T. Saino (2004)
The influence of large scale environmental changes on carbon export in the subarctic Pacific Ocean using satellite and shipboard data. *Deep-Sea Research II*, 51, 1-3, 247-279.

Goes, J. I., H.do R. Gomes, T. Saino, C.S. Wong and C. Mordy (2004)
Exploiting MODIS Terra and Aqua data for estimating Sea Surface Nitrate concentrations from space. *EOS*, in press.

Golez, M. S., A. Ohno, J. D. Toledo, Y. Tanaka and T. Ishimaru (2002)
Population dynamics of the calanoid copepod, Acartia tsuensis in a brackish-pond in the Philippines. *Fisheries Science,* 68, Supplement 1, 341-344.

Golez, M. S., T. Takahashi, T. Ishimaru and A. Ohno (2004)
Post-embryonic development and production of *Pseudodiaptomus annandalei* (Copepoda, Calanoida). *Plankton Biology and Ecology,* 51(1), 15-25.

Goto, N., O. Mitamura and H.Terai (2000)
Seasonal variation in primary production of microphytobenthos at Isshiki intertidal flat in Mikawa Bay. *Limnology,* 1, 133-138.

Goto, N., O. Mitamura and H. Terai (2001)
Biodegradation of photosynthetically produced extra-cellular organic carbon from intertidal benthic algae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 257(1), 73-86.

Han, M.-S. and K. Furuya (2000)
Size and species-specific primary production and community structure of phytoplankton in Tokyo Bay. *Journal of Plankton Research*, 22, 1221-1235.

Hashimoto, S. and A. Shiomoto (2001)
Chlorophyll *a* and primary productivity in the Bering Sea basin in summer and winter. *Bulletin of the Research Center for North Eurasia and North Pacific Regions, Hokkaido University,* 1, 19-24.

Hashimoto, S. and Shiomoto, A. (2002)
Light utilization efficiency of size-fractionated phytoplankton in the subarctic Pacific, spring and summer 1999: high efficiency of large-sized diatom. *Journal of Plankton Research,* 24, 83-87.

橋本慎治・才野敏郎（2004）
海洋における基礎生産測定法とその問題点，*海の研究*, 13(4), 357−370.

Hayashi, M., K. Furuya and H. Hattori (2001)
Spatial heterogeneity in distributions of chlorophyll a derivatives in the subarctic North Pacific during summer. *Journal of Oceanography*, 57, 323-331.

Hirawake, T. H. Satoh, T. Ishimaru and Y. Yamaguchi (2000)
Phtosynthetic characteristics of phytoplankton off Adelie Land, Antarctica, during the austral summer. *Polar Bioscience*, 13, 18-42.

Hirawake, T., H. Satoh, T. Ishimaru, Y. Yamaguchi and M. Kishino (2000)
Bio-optical relationship of Case I waters: The difference between the low-and mid-latitude waters and the Southern Ocean. *Journal of Oceanography*, 56, 245-260.

Horimoto, N., Y. Yamaguchi and T. Ishimaru (2001)
The distribution of picophytoplankton across Kuroshio Current off the Western Pacific Coast of Japan. *La Mer*. 39,181-195

日向博文・宮野 仁・柳 哲雄・石丸 隆・粕谷智之・川村 宏（2003）
大島西水道からの黒潮暖水流入時における相模湾表層循環流の短期変動特性. *海の研究*, 12, 167−184.

平譯亨, 鈴木光次, 岸野元彰, 古谷研, 田口哲, 斎藤誠一, 才野敏郎, 松本和彦, 播本孝史, 佐々木宏明, 藤木徹一, 古原慎一, 柏敏行（2001）
QFT 法及び現場型水中分光吸光度計による植物プランクトンの光吸収スペクトル測定プロトコル, *海の研究*, 10, *471−484.*

Imai, K., Y. Nojiri, N. Tsurushima and T. Saino (2002)
Seasonal variation of primary productivity at station KNOT (44N, 155E) in the subarctic western North Pacific. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos.24-25, 5395-5408.

石川 輝・藪下泰史・古谷 研・増田 健（2001）
東シナ海大陸棚上に分布する珪藻類休眠期細胞のブルーム発生における潜在的重要性. *日本プランクトン学会誌*, 48,85−94.

石坂丞二（2001）
沿岸域での海色リモートセンシングの現状と将来, *沿岸海洋研究*, 39, 21−26.

石坂丞二, 田島清史, 岸野元彰（2002）
海色データから推定した大村湾のクロロフィルa濃度の検証, *海の研究*, 11, 235−240.

石坂丞二（2002）
海洋リモートセンシング　第 4 回基礎生産, *日本リモートセンシング学会誌別冊*, 22, 457−461.

石坂丞二（2004）
サテライトからの有明海の赤潮動態, *沿岸海洋研究*, 42, 43−46.

岩松一郎・山崎秀勝・石丸 隆・木原興平・小池義夫・喜多沢 彰・林 敏史（2003）
黒潮フロント域の低塩分水塊の起源. *海の研究*, 12, 477−486.

Kameda, T. and J. Ishizaka (2004)
Size-fractionated primary production estimated by a two-phytoplankton community model applicable to ocean color remote sensing. *Journal of Oceanography*, In Press.

Kanda, J. (2000)
Envieonmental control of nitrate uptake in surface oceanic waters: an overview *In N. Handa, E. Tanoue and T. Hama [eds.] Dynamics and Characterization of Marine Organic Matter* Terra Scientific Publishing Co., Tokyo/ Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, *pp*. 39-65.

Kanda, J., Itoh, T., Ishikawa, D., and Watanabe, Y. (2002)
Environmental control of nitrate uptake in the East China Sea. *Deep-Sea Research II*, 50(2), 403-422.

Kanda, J., Fujiwara, S., Kitazato, H., and Okada, Y. (2003)
Seasonal and annual variation in the primary productivity regime in the central part of Sagami Bay.

Progress in Oceanography, 57(1), 17-29.

Kasuya, T., T. Ishimaru and M. Murano (2000):
Seasonal variations in abundance and size composition of the lobate ctenophore Boloopsis mikado (Moser) in Tokyo Bay, Central Japan. *Journal of Oceanography,* 56,419-427

Kasuya, T., T. Ishimaru and M. Murano (2000)
Metabolic rates and energy requirements of the lobate ctenophore *Bolinopsis mikado* (Moser). *Plankton Biology and Ecology*., 47,114-121.

岸野元彰，古谷研，田口哲，平譯亨，鈴木光次，田中昭彦（2001）
海水の光吸収係数の測定(総説) *海の研究,* 10, 537−560.

岸野元彰（2002）
連載講義 海洋リモートセンシング第1回 リモートセンシングによる海洋観測、*日本リモートセンシング学会誌*、22、79−88.

北出裕ニ郎・松山優治・石丸隆・才野敏郎・中村哲也・石井美帆（2004）
相模湾中央部でADCPにより観測された内部潮汐の鉛直構造と間欠性，*海の研究*13,461−474.

Kitamura, M., Y. Tanaka and T. Ishimaru (2003)
Coarse scale distributions and community structure of hydromedusae related to water mass structures in two locations of Japanese in early summer. *Plankton Biology and Ecology*., 50(2), 43-54.

Kitazato, H. Y. Shirayama, T. Nakatsuka, S. Fujiwara, M. Shimanaga, Y. Kato, Y. Okada, J. Kanda, A. Yamaoka, T. Masuzawa, and K. Suzuki (2000)
Seasonal phytodetritus deposition and responses of bathyal benthic foraminiferal populations in Sagami Bay, Japan: preliminary results from "Project Sagami 1996-1999". *Marine Micropaleontology*, 40,135-149.

Kitazato, H., T. Nakatsuka, M. Shimanaga, J. Kanda, W. Soh, Y. Kato, Y. Okada, A. Yamaoka, T. Masuzawa, K. Suzuki, and Y. Shirayama (2003)
Long-term monitoring of the sedimentary processes in the central part of Sagami Bay, Japan: rationale, logistics and overview of results. *Progress in Oceanography*, 57(1), 3-16.

Koike, K., K. Koike, M. Takagi, T. Ogata and T. Ishimaru (2000)
Evidence of phagotropy in *Dinophysis fortii* (Dinophysiales, Dinophyceae), a dinoflagellate that causes diarrhetic shelfish poisoning (DSP). *Phycological Research,* 48, 121-124.

Koike, K., H. Otobe, M. Takagi, T. Yoshida, T. Ogata and T. Ishimaru (2001)
Recent Occurrences of *Dinophysis fortii* (Dinophyceae) in the Okkirai Bay, Sanriku, Northern Japan, and Related Environmental Factors. *Journal of Oceanography*, 57, 165-175.

Limsakul, A., T. Saino, T. Midorikawa and J.I. Goes (2001)
Interannual variability and long-term trends in lower trophic level biological environments in the northwestern part of the North Pacific Subtropical Gyre during the latter half of the 20th Century. *Progress in Oceanography*, 49, 129-149.

Limsakul, A., T. Saino, J. I. Goes, T. Midorikawa (2002)
Comparison of seasonal variability in lower trophic level biological environments between the subtropical and Oyashio Waters. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos. 24-25, 5487-5512.

Liu, H., K. Suzuki, and T. Saino (2002)
Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subarctic North Pacific Ocean and Bering Strait during summer 1999. *Deep-Sea Research,* 49 (2), 363-375.

Liu, H., K. Imai, K. Suzuki, Y. Nojiri, N. Tsurushima and T. Saino (2002)
Seasonal variability of picoplankton and bacteria in the western subarctic Pacific Ocean at Station KNOT. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos.24-25,5409-5420.

Liu, H., K. Suzuki, and T. Saino (2002)

Picoplankton Community structure in the subarctic Pacific Ocean and the Bering Sea during summer 1999. *Marine Ecology Progress Series*, 237, 1-14.

松村 剛・堀本奈穂・許 耀霖・石丸 隆 (2001)
東京湾における栄養塩の動向(1998-1999年). *La Mer,* 38, 191-204.

松村 剛・石丸 隆・柳 哲雄 (2002)
東京湾における窒素とリンの収支. *海の研究,*, 11,613-630.

松村 剛、石丸 隆 (2003)
東京湾への淡水、窒素、リンの流入負荷量(1997, 98年度). *海の研究*, 13, 7-18.

松村 剛・石丸 隆・今村正裕 (2004)
東京湾におけるリンの溶出と海洋構造の季節変動. *沿岸海洋研究*, 41, 143-151.

Mino, Y., T. Saino, K. Suzuki, and E. Marañon (2002)
Itosopic composition of suspended particulate nitrogen ($\delta^{15}N_{sus}$ in surface waters of the Atlantic Ocean from 50N to 50S. *Global Biogeochemical Cycles*, 16, 4, 1059, doi:10.1029/2001GB001635.

Miyasaka, I., K. Nanba, K. Furuya, Y. Nimura and A. Azuma (2004)
Functional roles of the transverse and longitudinal flagella in the swimming motility of *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae). *Journal of experimental Biology*, 207(17), 3055-3066..

Nakatsuka, T., T. Masuzawa, J. Kanda, H. Kitazato, Y. Shirayama, and A. Yamaoka (2003)
Particle dynamics in the deep water column of Sagami Bay, Japan. I: origin of apparent flux of sinking particles. *Progress in Oceanography*, 57(1), 31-45.

Nakatsuka, T., J. Kanda., and H. Kitazato (2003)
Particle dynamics in the deep water column of Sagami Bay, Japan. II: seasonal change in profiles of suspended phytodetritus. *Progress in Oceanography*, 57(1), 47-57.

野村英明・北林浩子・田中祐志・石丸 隆 (2003)
相模湾におけるクラゲノミ亜目端脚類の季節的消長および鉛直分布, *La Mer*, 41, 69-76.

Obayashi, Y., E. Tanoue, K. Suzuki, N. Handa, Y. Nojiri and C. S. Wong (2001)
Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments. *Deep-Sea Research I*, 48, 439-469.

Odate, T., M. Fukuchi and K. Furuya (2002)
Photosynthetic oxygen production and community respiration in the Indian sector of the Antarctic Ocean during austral summer. *Polar Biology*, 25, 859-864.

Omura, T., T. Ishimaru and Y. Fukuyo (2002)
Physiological characteristics of two varieties of *Pyrodinium bahamense*. *Fisheries Science*, 68, Supplement 1, 523-524.

Ono, T., T. Midorikawa, Y.W. Watanabe, K. Tadokoro, and T. Saino (2001)
Temporal increases of phosphate and apparent oxygen utilization in the subsurface waters of western subarctic Pacific from 1968 to 1998. *Geophysical Research Letters*, 28, 3285-3288.

Ono,T., K. Tadokoro, T. Midorikawa, J. Nishioka, and T. Saino (2002)
Multi-decadal decrease of net community production in western subarctic North Pacific. *Geophysical Research Letters*, VOL. 29, NO. 8,10.1029/2001GL014332.

Ono, T., T. Saino, N. Kurita and K. Sasaki (2004)
Basin-scale extrapolation of shipboard pCO_2 data by using satellite SST and Chl *a*. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3803-3815.

大村卓朗・小野寺秀幸・石丸 隆・大島泰克 (2003)
まひ性貝毒産原因鞭毛藻 *Alexandrium* 属の無毒変異株, *La Mer*, 41, 86-93.

Ramaiah, N., T. Yoshikawa and K. Furuya (2001)
Temporal variations in transparent exopolymer particles (TEP) associated with diatom spring bloom in a

subarctic ria in Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 212, 79-88.

Ramaiah, N., and K. Furuya (2002):

Seasonal variations in phytoplankton composition and transparent exopolymer particles in a eutrophicated coastal environment. *Aquatic Microbial Ecology*, 30, 69-82.

Saino, T., A. Bychkov, C-T. A. Chen, and P. J. Harrison (2002)

The Joint Global Ocean Flux Study in the North Pacific. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos.24-25, 5297-5301.

Saino, T., A. Bychkov, C-T. A. Chen, and P. J. Harrison (2004)

North Pacific Synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study: Overview. *Journal of Oceanography*, 60, 1, 1-4.

Saito, H. K. Suzuki, A. Hinuma, T. Ota, K. Fukami, H. Kiyosawa, T. Saino, and A.Tsuda (2004)

Responses of microzooplankton to *in situ* iron fertilization in the western subarctic Pacific. Progress in Oceanogaraphy, in press

Sarma, V. V. S.S., T. Ono, and T. Saino (2002)

Increase of Total Alkalinity due to shoaling of aragonite saturation horizon in the Pacific and Indian Oceans: Influence of anthropogenic carbon inputs. *Geophysical Research Letters*, VOL. 29, NO. 20, 1971, doi:10.1029/2002GL015135, 2002.

Sarma, V.V.S.S., O. Abe, and T. Saino (2003)

Chromatographic separation of Nitrogen, Argon and Oxygen in Dissolved air for determination of triple oxygen isotopes by Dual-inlet Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 75 (18), 4913-4917

Sarma, V.V.S.S. (2003)

Monthly variability in surface pCO_2 and net air-sea CO_2 flux in the Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 108(C8), doi: 10.1029/2001JC001062, 2003.

Sarma V.V.S.S.*, P.S. Swathi, M.D. Kumar, S. Prasannakumar, P.M.A. Bhattathiri, M. Madhupratap, V. Ramaswamy, M.M. Sarin, M. Gauns, N. Ramaiah, S. Sardessai, and S.N. de Sousa (2003)

Carbon budget in the eastern and central Arabian Sea: An Indian JGOFS synthesis. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), doi: 10.1029/2002GB001978.

Sarma, V.V.S.S., O.Abe, S.Hashimoto, A.Hinuma, and T.Saino (2004)

Seasonal variations in triple oxygen isotopes and gross oxygen production in the Sagami Bay. Limnology and Oceanography, In Press

Sasaoka, K. , S. Saitoh, I. Asanuma, K. Imai, M. Honda, Y. Nojiri, and T. Saino (2002)

Temporal and spatial variability of chlorophyll *a* in the subarctic northwestern Pacific determined from satellite and ship observations during 1997-1999. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos.24-25, 5557-5576.

Sato, R., J. Yu, Y. Tanaka and T. Ishimaru (1999)

New apparatuses for cultivation of appendicularians. *Plankton Biology and Ecology*, 46, 162-164.

Sato, R., Y. Tanaka and T. Ishimaru (2001)

House production by *Oikopleura dioica* (Tunincata, Appendicularia) under laboratory conditions. *Journal of Plankton Research*, 23, 415-423.

Sato. R, Y. Tanaka and T. Ishimaru (2003)

Species-specific house productivity of appendicularians. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 163-172.

Shiomoto, A. and S. Hashimoto (2001)

Size-fractionated chlorophyll *a* and primary productivity in the offshore Oyashio water in July 1992. *La Mer*, 39, 9-18.

Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi (2004)

Estimation of Chlorophyll *a* Vertical Profiles from Satellite Data and the Implication to Primary Production in Kuroshio Front of the East China Sea. *Journal of Oceanography*, In Press.

Suh, Y.-S., L.-H. Jang, N.-K. Lee, J. Ishizaka (2004)
Feasibility of red tide detection around Korean waters using satellite remote sensing, *Journal of Fisheries Science and Technology*, 7, 148-162.

Suzuki, K., A. Tsuda, H. Kiyosawa, S. Takeda, J. Nishioka, T. Saino, M. Takahashi, and C. S. Wong (2002)
Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 271, 99-120.

Suzuki, K., H. Liu, T. Saino, H. Obata, M. Takano, K. Okamura, Y. Sohrin, and Y. Fujishima (2002)
East-west gradients in the photosynthetic potential of phytoplankton and iron concentration in the subarctic Pacific Ocean during early summer. *Limnology and Oceanography*, 47, 1581-1594.

Suzuki, K., C. Minami, H. Liu and T. Saino (2002)
Temporal and spatial patterns of chemotaxonomic algal pigments in the subarctic Pacific and the Bering Sea during summer 1999. *Deep-Sea Research II*, 49, Nos.24-25,5685-5704.

Suzuki, K., A. Tsuda, H. Kiyosawa, S. Takeda, J. Nishioka, T. Saino, M. Takahashi, and C.S. Wong (2002)
Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecolog*, 271 (1), 99-120.

鈴木光次，吉川尚，古谷研，才野敏郎（2002）
クロロフィル蛍光による植物プランクトンの光合成活性の測定. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 49, 27−36.

Suzuki, K., A. Hinuma, H. Saito, H. Kiyosawa, H. Liu, T. Saino, and A. Tsuda (2004)
Responses of phytoplankton and heterotrophic bacteria in the northwest subarctic Pacific to *in situ* iron fertilization as estimated by HPLC pigment analysis and flow cytometry, *Progress in Oceanography*, in press

Tanaka, T. and T. Saino (2002)
A modified method for the analysis of nitrogen isotopic composition of oceanic nitrate at low concentration in shallow water. *Journal of Oceanography*, 58 (4), 539-546.

Takamaru, H., T. Yoshikawa, R. Neelam, S. Takeda and K. Furuya (2002)
Rapid evaluation of photosynthetic activity of phytoplankton by pulse amplitude modulated (PAM) fluorescence in coastal waters. *Fisheries Sciences*, 68 suppl., 651-652.

田中昭彦・岸野元彰・大石友彦・久保田 正（2001）
黄海を例としたケース2海域におけるリモートセンシングの多成分抽出、*東海大学海洋学部紀要*、52、1−8.

Tsuda, A., Takeda S, Saito H, Nishioka J, Nojiri Y, Kudo I, Kiyosawa H, Shiomoto A, Imai K, Ono T, Shimamoto A, Tsumune D, Yoshimura T, Aono T, Hinuma A, Kinugasa M, Suzuki K, Sohrin Y, Noiri Y, Tani H, Deguchi Y, Tsurushima N, Ogawa H, Fukami K, Kuma K, Saino T (2003)
A mesoscale iron enrichment in the western Subarctic Pacific induces a large centric diatom bloom. *Science*, 300 (5621), 958-961

柳 哲雄・石丸 隆・峰 雄二・喜多澤 彰・野田 明（1999）
東京湾口海底峡谷における濁度の季節変動. *海の研究*, 8, 191−195.

柳 哲雄・屋良由美子・松村剛・石丸 隆（2004）
東京湾のリン・窒素循環に関する数値生態系モデル解析, *海の研究*, 13, 61−72.

Yamada, K., J. Ishizaka, S. Yoo, H. Kim and S. Chiba (2004)
Seasonal and Interannual Variability of Sea Surface Chlorophyll a Concentration in the Japan/East Sea (JES). *Progress in Oceanography*, 61,193-211.

Yoshikawa, T., H. Otobe and K. Furuya (2002)
Continuous monitoring of chlorophyll *a* and photosynthesis by natural fluorescence method in a coastal aquaculture ground. *Fisheries Sciences*, 68 suppl., 588-591.

Yoshikawa T, and K. Furuya (2004)
Continuous monitoring of chlorophyll *a* and photosynthesis by natural fluorescence method in coastal waters. *Marine Ecology Progress Series,* 273,17-30.
Yoshikawa, T. and K. Furuya (2004)
Effects of diurnal variations in phytoplankton photosynthesis on the estimation of primary production from natural fluorescence. *Marine Ecology Progress Series,* Vol.273, 31-36.

(2) その他の報文 (国内37件、海外14件)

Chiba S, and Saino, T (2003)
Response of lower trophic level ecosystem to climate change in the Japan Sea. *Kaiyo Monthly.* 35:155-161 (in Japansese).
古谷研, 石丸隆, 高橋正征 (2000)
植物プランクトンの光合成―光曲線の測定, 海洋植物プランクトン IIーその分類・生理・生態―*月刊海洋号外*, 21, 116-122
平譯亨・鈴木光次・岸野元彰・古谷研・田口哲・齊藤誠一・才野敏郎 (2001)
プランクトン光吸収スペクトル測定法の検討―測定プロトコルの作成―。*Otsuchi Marine Science,*
Hosaka, T., T. Oishi, A. Tanaka and T. Saino (2000)
Diffuse backward scattering in natural light fields. *Ocean Optics XV CD-ROM paper* no. 1037, The Office of Naval Research, Ocean, Atmosphere, and Space S&T Department
石丸隆, 才野敏郎, 古谷研 (2000)
海洋の有光層の観測のあり方, 海洋植物プランクトン IIーその分類・生理・生態―*月刊海洋号外* 21, 205－210
石丸 隆 (2001)
生物に対する CO_2 の影響, CO_2 海洋隔離―隔離技術と生物影響について. *月刊海洋*, 33(11), 785-790.
石丸 隆・佐藤博雄・山口征矢・大濱妙子 (2001)
縁辺海の海洋基礎生産のモニタリングの基礎研究－基礎生産の特性とモニタリングシステムの開発－ *文部省科学研究費補助金「特定領域(B)」縁辺海の海況予報のための海洋環境モニタリングの研究, 中間報告書(II)*, 145-157, 2001, 東京大学海洋研究所
石丸 隆 (2003)
魚類生産と海洋深層水, *資源テクノロジー*, 291, 22-36.
石坂丞ニ, J. I. Goes、才野敏郎 (1999)
OCTS を用いた海洋基礎生産と新生産の推定 ADEOS 報告会'98「*ADEOS で見た地球環境変動」報告書*, pp 41-50, 宇宙開発事業団
石坂丞二 (2000)
衛星観測による植物プランクトンの生物量と生産力の把握, *月刊海洋号外* 海洋植物プランクトン IIーその分類・生理・生態― 21, 201-204.
石坂丞二・亀田卓彦・村上浩・浅沼市男 (2000)
人工衛星による地球規模の海洋基礎生産推定, *海洋と生物*, 22, 224-227.
Ishizaka, J. (2000)
Phytoplankton distribution in the East China Sea detected by Ocean Color Remote Sensing. *Proc. The 5th Int'l Symp. On Mar. Sci., Marine Environmental Study on the East China Sea and Yellow Sea,* 1-8.
石坂丞二 (2003)
宇宙から見た有明海の赤潮 *月刊海洋*, 35, 271-275.
Ishizaka, J. (2003)
Detection of red tide events in the Ariake Sound, Japan, *Proceedings of SPIE,* Vol. 4892, 264-268.

Ishizaka, J. (2003)
Possible influence of Changjiang River dam to primary production in the East China Sea, *Proc. International Symposium on Oceanographic Environmental Change after Completion of the Changjiang (Yangtze River) Three Gorges Dam*, 85-87.

Ishizaka, J., A. Tanaka, H. Sasaki, H. Murakami, W.-Z. Chen, K. Hosoda, K. Sasaoka, I. Asanuma, H. Kawamura, M. Toratani, H. Fukushima (2004)
Early Scientific Results of GLI Ocean. *Proceedings of SPIE,* Vo. 5234, 525-530.

Kameda, T., J. Ishizaka, H. Murakami (2000)
Two-phytoplankton community of primary production for ocean color satellite data. Hyperspectral Remote Sensing of the Ocean. *Proceedings of SPIE*. 4154, 159-165.

Kishino, M., T. Ishimaru, N. Horimoto, and T. Saino (2002)
Measurements of Absorption Coefficient of Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) *Ocean Optics XVI,* CD-ROM

Kitazato, H., T. Nakatsuka, S. Fujiwara, M. Shimanaga, Y. Kato, Y. Okada, J.Kanda, A. Yamaoka, T. Masuzawa, K. Suzuki, Y. Shirayama (1999)
Carbon cycling in a euphotic marginal sea- Time-series observations at Sagami Bay. *Proceedings of an international workshop on sediment transport and storage in coastal sea-ocean system,* Tsukuba (Japan), 372- 377.

宮坂郁, 難波謙二, 古谷研, 東昭 (2000)
渦鞭毛藻類はどうやって泳いでいるのか？ *月刊海洋号外* 海洋植物プランクトン II－その分類・生理・生態― 21, 226-230.

Saino, T. (1999)
Chlorophyll *a*: *Report of Japan's Earth Observation Activities 1998-1999*, pp. 29-31, NASDA.

才野敏郎 (1999)
宇宙から海洋表層の硝酸イオン濃度を測る *IHAS NewsLetter* vol 9., 1-2, 1999

才野敏郎 (2000)
海洋学とリモートセンシング *第二回海事工学シンポジウム「21 世紀の海洋工学に何を期待するか」* pp.2-27, 2000 年, 日本学術会議船舶海洋工学研究連絡委員会・海事工学専門委員会

才野敏郎 (2000)
衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム *平成 11 年度戦略的基礎研究推進事業研究年報* pp. 1188-1191, 2000, 科学技術振興事業団

才野敏郎 (2000)
衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム *IHAS News* 13,p.2, 2000, 名古屋大学大気水圏科学研究所

才野敏郎 (2000)
炭素循環国際シンポジウムの報告 *IHAS News 14,* p.4, 2000, 名古屋大学大気水圏科学研究所

才野敏郎 (2000)
JGOFS の動向 *「縁辺海の海況予報のための海洋環境モニタリングの研究」中間報告書(I)*35pp,東京大学海洋研究所

才野敏郎 (2001)
水温・クロロフィル・海上風からの海洋―大気間二酸化炭素フラックスの推定:北部北太平洋におけるケーススタディ、*宇宙開発事業団成果報告書*、名古屋大学大気水圏科学研究所、31pp、2001

才野敏郎 (2001)
JGOFS の動向 *文部省科学研究費補助金「特定領域(B)」縁辺海の海況予報のための海洋環境モニタリングの研究, 中間報告書(II)*, 32-33, 2001 東京大学海洋研究所

才野敏郎 (2001)

衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム *平成 12 年度戦略的基礎研究推進事業 研究年報*、科学技術振興事業団、17pp

才野敏郎（2002）

2 章 わが国の海洋科学の進歩 2.5 安定同位体 *海の研究* 11 巻 1 号、pp43-44.

才野敏郎（2002）

3 章 会員が所属する海洋研究調査機関 3.17 名古屋大学大気水圏科学研究所、*海の研究* 11 巻 1 号、p.123.

才野敏郎（2002）

5 章 国内外の研究協力体制 5.2.3 JGOFS *海の研究* 11 巻 1 号、p.160.

才野敏郎（2002）

JGOFS の動向 *「縁辺海の海況予報のための海洋環境モニタリングの研究」中間報告書(III)* p45,東京大学海洋研究所

Saino, T., S. Chiba, T. Ono, and K. Tadokoro (2002)

Marine Biological Process Model Group, *Annual Report FY2001, Frontier Research System for Global Change*, p36-37, 2002, 海洋科学技術センター・宇宙開発事業団

才野敏郎（2002）

衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム *第 3 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」要旨集* pp. 2－16, 科学技術振興事業団

才野敏郎（2003）

水温, クロロフィルデータを用いた海洋表層の二酸化炭素分圧の推定：北部北太平洋におけるケーススタディ（その2） *平成14年度、宇宙開発事業団成果報告書* 名古屋大学地球水循環研究センター、8pp

才野敏郎（2003）

水温, クロロフィルデータを用いた海洋表層の二酸化炭素分圧の推定：北部北太平洋におけるケーススタディ（その3） *平成15年度上期、宇宙開発事業団成果報告書* 名古屋大学地球水循環研究センター、71pp

才野敏郎（2003）

生物圏―地球圏国際協同研究計画(IGBP) *学術月報*、56 巻 5 号、474－477.

才野敏郎（2003）

過去 5 年の「みらい」運用について－運用検討委員会からの視点－総特集 海洋地球研究船「みらい」－その成果と将来－、*月刊海洋号外*、34 巻、197－199.

才野敏郎 (2003)

各プロジェクト SSG/SSC 会議報告：JGOFS/IGBP-SSC *HyARC News*, 4, 2

才野敏郎 (2003)

プロジェクト会議報告：「SCOR 執行役員会」 *HyARC News*, 5, 3

Saino, T., and M.J. Kishi (editors; 2003)

Workshop on Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study 43pp., 2002, HyARC, Nagoya University

才野敏郎（2004）

衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム 第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」要旨集、科学技術振興機構、2-19,

Siswanto, Eko, and Joji Ishizaka (2002)

Estimating chlorophyll *a* vertical profiles around Kuroshio front of East China Sea during spring and autumn 2001. *Proceedings of PORSEC 2002*, 459-464.

Suzuki, K., H. Liu, C. Minami, and T. Saino (2000)

Photosynthetic potential of phytoplankton in the subarcric Pacific as estimated by active fluorescence technique. *Ocean Optics XV. CD-ROM paper* no. 1153, The Office of Naval Research, Ocean,

Atmosphere, and Space S&T Department.

鈴木光次（2001）

液体クロマトグラフィーによるクロロフィルとカロテノイドの測定及びフィコビリンタンパク質の測定。*地球環境調査辞典第 3 巻*, 株式会社 フジ・テクノシステム。

鈴木光次（2001）

蛍光法による基礎生産速度の測定。*地球環境調査辞典第 3 巻*, 株式会社フジ・テクノシステム。

Suzuki, K., A.Hinuma, J.Ohta, K.Matsumoto, S.Hashimoto, N.Horimoto, T. Ishimaru, and T.Saino (2002)

Estimates of daily primary production in Sagami Bay(Japan) using fast repetition rate fluorometry and their data verification. *Ocean Optics XVI*, CD-ROM

Tadokoro T, Chiba, S., Saino, T. (2003)

Interannual variation of Neocalanus copepods biomass in the Oyashio Water. *Kaiyo Monthly* 35: 19-24 (in Japanese).

Tan Chun Knee, 石坂丞二（2004）

GISと海色衛星の赤潮モニタリングへの応用,*月刊海洋*, 36, 376-379.

（２）口頭発表（国外 125 件、国内 156 件）

発表者(所属)，タイトル，学会名，場所，月日

1999 年度

1）鈴木光次(名大)・才野敏郎(名大)・長谷川理(東大)・古谷研(東大)；アクティブ蛍光法による海洋基礎生産力の測定，日本海洋学会，函館, 1999年9月18日

2）南千絵(名大)・鈴木光次(名大)・平譯亨(極地研)・松本和彦(海技センター)・田口哲(創価大)・岸野元彰(理研)・古谷研(東大)・斉藤誠一(北大)・才野敏郎(名大)；植物プランクトンの光吸収係数測定法の検討～デトリタスの光吸収係数の影響～，日本海洋学会，函館, 1999年9月18日

3）古谷研(東大)・岸野元彰(理研)・才野敏郎(名大)・斉藤誠一(北大)・田口哲(創価大)・平譯亨(極地研)・鈴木光次(名大)；植物プランクトン光吸収係数測定法の検討～測定プロトコルの作成～，日本海洋学会，函館, 1999年9月18

4）才野敏郎(名大)；基礎生産の意味，測定法，新生産と物質循環　海洋生態系観測システム研究会，六本木, 1999年9月27日

5）石坂丞二(長崎大)；バリデーションの意義と実施戦略－継続的な衛星利用研究体制の必要性－　海洋生態系観測システム研究会，六本木, 1999年9月27日

6）Goes, J.I.，才野敏郎, H.R. Gomes，石坂丞二, 野尻幸弘, C.S. Wong；　衛星データから見積もった北部北太平洋の新生産の年々変化，日本海洋学会秋季大会，函館, 1999年9月

7）Saino, T.; Monitoroing the ocean biogeochemical processes by combined use of satellite remote sensing and time-series sediment traps. 日本海洋学会秋季大会，函館，1999年9月

8) Saino, Toshiro; Estimate of sea surface nitrate from space: can it be applicable to the coastal seas? The 10th JSPS/VCC Joint Seminar on Marine and Fisheries Sciences, Malacca, Malaysia, 29 Nov. 1999.

9) Saino, Toshiro; Year to year variability of new production in the northern North Pacific estimated from remotely sensed sea surface temperature and chlorophyll a. ADEOS/ADEOS-II Joint Symposium/ Workshop, Kyoto, 6 Dec. 1999.

10) Ishizaka, Joji (Nagasaki U.), T. Kameda (JFA), H. Murakami (EORC/NASDA); Estimation of Primary Production with OCTS Data, ADEOS/ADEOS-II Joint Symposium/Workshop, Kyoto, 7 Dec. 1999.

11) Ken FURUYA, Mitsuyasu WAKU, Kazutoshi HARADA and Tsuneo ODATE; Primary production and community respiration in the East China Sea, China-Japan Workshop on Ocean Flux in the East China Sea, Qindao, Dec. 18, (1999)

12) Ken Furuya and Takashi Yoshikawa (University of Tokyo); Photosynthetic characteristics of phytoplankton in the subarctic Pacific Ocean in summer, International Symposium on Ocean Color Remote Sensing and

Carbon Flux, Chiba, Dec. 14 (1999)

13) 石坂丞二(長崎大); 物質循環/生物海洋学:地球規模での基礎生産の推定, 第3回海洋地球研究船「みらい」シンポジウム, 品川, 2000年1月13日

14) 笹岡晃征(北大), 斎藤誠一(北大), 浅沼市男(海技セ), 今井圭理(科技事), 本多牧生(海技セ), 才野敏郎(名大); 海色リモートセンシングを用いた北太平洋亜寒帯域におけるクロロフィル分布変動解析, 第3回海洋地球研究船「みらい」シンポジウム, 品川, 2000年1月13日.

15) 才野敏郎(名大); JGOFS North Pacific Process Study の研究成果, 第3回海洋地球研究船「みらい」シンポジウム, 品川, 2000年1月14日

16) Suzuki, K., H. Liu, C. Minami, T. Saino; Photosynthetic characteristics of phytoplankton in the subarctic North Pacific during summer 1999 as estimated by active fluorescence technique, 2000 Ocean Sciences Meeting, San Antonio, Texas, U.S.A., Jan. 25, 2000

17) Liu, H. (Nagoya Univ.), Suzuki, K. (Nagoya Univ.) , C. Minami (Nagoya Univ.), T. Saino (Nagoya Univ.), M. Watanabe (NIES), N. Jiao (NIES); Picoplanktonic community structure in the subarctic North Pacific during summer 1999, 2000 Ocean Sciences Meeting, San Antonio, Texas, U.S.A., Jan. 27, 2000

18) Suzuki, K. (Nagoya Univ.), H. Liu (Nagoya Univ.), C. Minami (Nagoya Univ.), and T. Saino (Nagoya Univ.); Photosynthetic characteristics of phytoplankton in the subarctic Pacific during summer 1999 as estimated by active fluorescence technique. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific, Nagoya, Feb. 9, 2000

19) Liu, H. (Nagoya Univ.), K. Suzuki (Nagoya Univ.), T. Saino (Nagoya Univ.); Phytoplankton growth and microzooplankton grazin in the subarctic North Pacific Ocean and Bering Sea during summer 1999. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific, Nagoya, Feb. 9, 2000

20) Nojiri, Y., T. Saino*, S. Watanabe, K. Imai and N. Tsurushima; Ocean time series study in the western North Pacific at 44N, 155E (station KNOT): Preliminary results from 1998-1999 time series. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

21) Limsakul*, A., T. Saino* and T. Midorikawa; Seasonal and Interannual variability as well as long-term trends in low trophic level biological environments in the northwestern part of the North Pacific subtropical gyre during 1950-1997. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

22) K. Imai, N. Tsurushima, T. Egashira, Y. Nojiri, T. Saino* and Y. Maita; Seasonal variations of primary productivity at Station KNOT (44N, 155E) in theh North Western Pacific Ocean. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

23) Mino, Y., T. Saino*, K. Imai, N. Tsurushima and Y. Nojiri; Seasonal variability in the $d^{13}C$ of particulate organic matter (POM) at Station KNOT (44N, 155E). An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

24) Obayashi, Y. (Nagoya Univ.), E. Tanoue (Nagoya Univ.), K. Suzuki (Nagoya Univ.), N. Handa (Aichi Pref. Univ.), Y. Nojiri (NIES) and C. S. Wong (IOS); Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific, Nagoya, Feb. 9, 2000

25) Toshiro Saino*; Annual variability in the biogeochemistry of the western subarctic Pacific. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

26) Sasaoka, K., S. Saitoh, I. Asanuma, M. Honda, K. Imai, Y. Nojiri and T. Saino; Ocean color variability of Japan JGOFS time series station KNOT and its adjacent waters, northwestern North Pacific observed by OCTS and SeaWiFS during 1996-1999. An international symposium on carbon cycles in the North Pacific. Feb 2000, Nagoya

27) Toshiro Saino; What is the role of marine time series in SOLAS, 1st SOLAS Open Science Conference, Damp, Germany, 22 Feb. 2000.

28) Limsakul, A., T. Saino, T. Midorikawa; Interannual variability and long-term trends in lower trophic level biological environments in the northwestern part of the North Pacific Subtropical Gyre during the latter half of this century. Beyond El Nino: A conference on Pacific Climate Variabilty and Marine Ecosystem Impacts, from the Tropics to the Arctic. Mar 2000, La Jolla, USA

29) Goes, J.I., H.do R. Gomes, W. Balch and T. Saino; El-Nino related interannual variations in biological production in the north Pacific Ocean as evidenced by satellite and ship data. Beyond El Nino: A conference on Pacific Climate Variability and Marine Ecosystem Impacts, from the Tropics to the Arctic. Mar 2000, La Jolla, USA

30) 才野敏郎; 海洋生態系モデル研究”生態系変動予測領域の研究方向 生態学会自由集会 2000年3月 東広島市, 広島大学・総合科学部

31) 吉川 尚・古谷 研・乙部弘隆(東大); 自然蛍光によるクロロフィルaおよび一次生産速度の連続モニタリング、日本海洋学会、東京水産大学、3月28日(2000)

32) 石川 輝(三重大)・古谷 研(東大); 東シナ海における春期ブルームの発生に果たす珪藻休眠期細胞の役割、日本海洋学会、東京水産大学、3月28日(2000)

33) 田島清史・石坂丞二・岸野元彰(2000); 海色データから推定した大村湾のクロロフィルa濃度の検証 日本海洋学会春季大会, 3月28日(2000)

34) 古谷 研・林 雅人(東大); 黒潮およびその周辺域における植物プランクトン現存量の上限、日本海洋学会、東京水産大学、3月29日(2000)

35) 鈴木光次(名大)・劉紅斌(名大)・南千絵(名大)・才野敏郎(名大); 1999年初夏における北太平洋亜寒帯域表層の植物プランクトンの光合成潜在能力, 日本海洋学会, 東京, 2000年3月30日

36) Ishizaka, Joji; Ocean color monitoring in the Japan Sea. International workshop on remote sensing of marine environment in the northwest Pacific Region, International Workshop on Remote Sensing of Marine Environment in the Northwest Pacific Ocean, Toyama, 31 Mar. (2000).

2000 年度

1) 石坂丞二、大西美奈; 海色衛星による富山湾のクロロフィル分布 2000年度水産海洋学会研究発表大会 2000年4月

2) Saino, Toshiro*; Monitoring the ocean biogeochemistry with satellite ocean color remote sensing, International Workshop on Remote Sensing of Marine Environment in the Northwest Pacific Ocean Apr 2000, Toyama

3) Nojiri, Y., T. Saino, S. Watanabe, K. Imai and N. Tsurushima; Western North Pacific Ocean time series study at 44N, 155E (station KNOT) as a JGOFS/NPTT (North Pacific Task Team) activity. JGOFS Open Science Conference, Ocean Biogeochemistry: A New Paradigm, Apr 2000, Bergen, Norway

4) Goes, J.I., H. do R. Gomes, A. Limsakul, W. Balch and T. Saino; El-Nino mediated changes in biological production in the north Pacific Ocean as observed from ship and satellite data. JGOFS Open Science Conference, Ocean Biogeochemistry: A New Paradigm, Apr 2000, Bergen, Norway,

5) 才野敏郎; 平成12年度第1学期 「海洋における地球環境研究の最前線:生物活動と物質循環」名古屋大学キャリアアップ研修 名古屋大学(豊田講堂第1会議室)2000年5月

6) 才野敏郎; 「海洋学とリモートセンシング」第二回海事工学シンポジウム「21世紀の海洋工学に何を期待するか」日本学術会議講堂, 港区六本木 2000年6月

7) K. Tadokoro, T. Saino, and T. Sugimoto; Geographical variation of Chl-a seasonality, and its interannual variation in the subarctic North Pacific Ocean ICES 2000 Annual Science Conference, Jun 2000, Bruges, Belgium

8) Tanaka,T.,and T.Saino; Effect of El-Nino Southern Oscillation events on the distributuion of isotopic composition of nitrate nitrogen and suspended particulate nitrogen in the western and central equatorial Pacific 2000 Western Pacific Geophysics Meeting Jun 2000, Yoyogi, Tokyo

9) Toshiro Saino; Estimating Sea Surface Nitrate and New Production from Space The Goering Symposium:

A Celebration of 40 Years in Ocean Science and Education, Aug 2000, Fairbanks, Alaska, USA

10) 石坂丞二; リモートセンシングを利用した沿岸環境モニタリング:日本海・富山湾を例として. リモートセンシング水環境フォーラム 人工衛星による水環境ウォッチング 地方における取り組み 基調講演 2000年 8月

11) Toshiro Saino and J. I. Goes; Year to year variability of new production in the northern North Pacific estimated from remotely sensed sea surface temperature and chlorophyll a. Biogeochemical Cycles: German contribution to the international Joint Global Ocean Flux Study. Sep 2000, Bremen, Germany

12) Suzuki, K., H. Liu, C. Minami, T. Saino; Photosynthetic potential of phytoplankton in the subarctic Pacific as estimated by active fluorescence technique Ocean Optics XV, Sep 2000, Monaco

13) Hosaka, T., T. Oishi, A. Tanaka and T. Saino; Diffuse backward scattering in natural light fields. Ocean Optics XV, Sep 2000, Monaco

14) Kishino, M., J. Ishizaka, S. Saitoh, H. Satoh, T. Hirawake; Optical Properties of Case 2 Waters around the Japanese Islands, Ocean Optics XV. Sep 2000, Monaco

15) 三野義尚・才野敏郎; 大西洋表層における懸濁粒子の窒素安定同位体比の変動について 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

16) 今井圭理・野尻幸弘・鶴島修夫・江頭毅・才野敏郎*・米田義昭; 北西太平洋定点(KNOT)における生物生産過程の挙動 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

17) 古谷 研・吉川 尚・N. Ramaiah; 内湾域における植物プランクトン現存量の上限 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

18) Ramaiah, N. and K. Furuya; Annual variations in transparent exopolymer particles associated with red tides in an eutrophicated coastal environment. 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

19) 小埜恒夫・渡辺W.豊・緑川貴・才野敏郎・佐々木克之; 北太平洋におけるDICの10年スケール変動. 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

20) 品田晃良・伴修平・池田勉; 北海道南西部沖合域における微小生物網動態の季節変化 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

21) 佐藤 力・田中祐志・石丸 隆; *Fritillaria formica*(尾虫目, サイヅチボヤ科)の2亜種の生態学的特性とその比較. 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

22) 喜多村 稔・田中祐志・峰 雄二・野田 明・浜田浩明・石丸 隆; 多段開閉式ネットIONESS(Intelligent Operative Net Sampling System)の改良. 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

23) 橋本俊也、柳哲雄、石坂丞二、松浦瑞穂、小田原主尚; 衛星画像による赤潮監視の可能性 2000年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム 2000年9月 福岡

24) 石坂丞二; 沿岸域での海色リモートセンシングの現状と将来 2000年度日本海洋学会秋季大会 沿岸海洋シンポジウム 2000年9月 福岡

25) 田島清史、石坂丞二、平訳亨、齊藤誠一、佐々木宏明、吉田貫、岸野元彰、田中昭彦、浅沼市男、佐藤博雄; 日本近海の水中分光放射データから推定したクロロフィルa濃度の検証 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

26) 山田圭子、石坂丞二、齊藤誠一、岸野元彰; 海色リモートセンシングデータより推定した日本海の基礎生産 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

27) 大西美奈、石坂丞二、笠原一世; 富山湾及びその周辺の渦構造と衛星クロロフィルa濃度 2000年度日本海洋学会秋季大会 2000年9月 福岡

28) Kameda, T. and J. Ishizaka; Two-phytoplankton model of primary production for ocean color satellite data, SPIE's Second International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, Sendai.

29) Yamada, K., J. Ishizaka, S. Saitoh, M. Kishino; Interannual variability of surface chlorophyll-a and primary production in the Japan Sea observed by satellite remote sensing. PICES. Oct 2000, Hakodate.

30) Ishizaka, J.; Status and Possibility of GLI. Ocean Color Remote Sensing and Asian Marine Environment,

NASDA/IOCCG/ESCAP/AIT

31) Furuya, K., V. Gunbua, M. Miki, T. Boonphakdee and Y. Yamaguchi; Pigements and phytoplankton assessment in the Bangpakong Estuary in the inner Gulf of Thailand. The 11th JSPS Joint Seminar on Marine Science, Nov 2000, Tokyo

32) Goes, J.I., H.R. Gomes, A. Limsakul, W. Balch and T. Saino; Interannual variations in biological production and carbon cycling in the subarctic Pacific Ocean: the role of ENSO events. PICES ninth annual meeting, Oct 2000, Hakodate

33) K. Tadokoro, T. Saino*, and T. Sugimoto; Long term variation of Chl-a concentration, zooplankotn biomass, and the hydrographic structure in the Oyashio water PICES ninth annual meeting, Oct 2000, Hakodate

34) Ono, T., K. Tadokoro, T. Midorikawa and T. Saino*; Possible changes in the subsurface ocean structure and mixed-layer nutrient levels in the western North Pacific during the last decade. PICES 9th Annual Meeting, Oct 2000, Hakodate

35) Suzuki, T., K. Goto, M. Ishii, T. Miyake, A. Murata, Y. Nojiri, S. Oguma, T. Ono, T. Saino*, F. Shimamoto, Y. Tsurushima, S. Watanabe and Y.W. Watanabe; Metadata for CO2 and related oceanographic data in Japan PICES 9th Annual Meeting, Oct 2000, Tsukuba

36) Oguma, S., K. Goto, M. Ishii, T. Miyake, A. Murata, Y. Nojiri, T.Ono,T.Saino*, F. Shimamoto, T. Suzuki, Y. Tsurushima, S. Watanabe and Y.W. Watanabe; Inventory for Japanese chemical oceanographic data (IJCD) PICES 9th Annual Meeting, Oct 2000, Tsukuba

37) Nojiri, Y., K. Imai, N. Tsurushima, T. Saino* and S. Watanabe; Biogeochemical study at ocean time series station KNOT (44N, 155E)-Results o of 1998-2000 survey PICES 9th Annual Meeting, Oct 2000, Tsukuba

38) Imai, K., N. Tsurushima, T. Egashira, Y. Nojiri and T. Saino*; Seasonal variation of primary productivity at station KNOT (44N, 155E) in the northwestern Pacific Ocean PICES 9th Annual Meeting, Oct 2000, Tsukuba

39) Shinada, A.*, T. Ikeda and S. Ban; Planktonic food chain dynamics in the Oyashio region, western subarctic Pacific.PICES 9th Annual Meeting, Hakodate Future University, Oct 2000, Hakodate, Hokkaido, Japan

40) 才野敏郎*; 人工衛星データによる海洋表層の硝酸イオン濃度の推定とその応用 東京大学海洋研究所シンポジウム「海洋における窒素循環 ーその21世紀の海洋学における展望ー」, 中野, 東京

41) Ono, T., Y. W. Watanabe, T. Midorikawa and T. Saino*; Decadal variations of DIC in the North Pacific during 1968-1995: Estimation from the multi regression approach. AGU 2000 Fall Meeting, Dec 2000 San Fransisco

42) Ishizaka, J., Y. Kiyomoto, K. Okamura, K. Yokouchi; Ocean color of Changjiang River plume during the 1998 summer, Korea-Japan Joint GLOBEC Symposium “Long-term Variations in the Northwestern Pacific Ecosystems

43) Yamada, K., J. Ishizaka; Interannual variability of chlorophyll-a concentrations in the Japan Sea observed by satellite remote sensing, Korea-Japan Joint GLOBEC Symposium on “Long-term Variations in the Northwestern Pacific Ecosystems”

44) 今村理香・畠山絵理奈・古谷 研; フィコエリスリンの簡易定量法 2001年度日本海洋学会春季大会 2001年3月 東京

45) 吉川 尚・古谷 研・乙部弘隆; 自然蛍光によるクロロフィルaおよび一次生産の連続観測 2001年度日本海洋学会春季大会 2001年3月 東京

46) 鈴木光次・吉川 尚・古谷 研・才野敏郎; クロロフィル蛍光による植物プランクトン光合成活性の測定 2001年度日本プランクトン学会シンポジウム 2001年3月 東京

2001 年度

1) Chiba S., Tadokoro K., Ono T., Saino T.; Interdecadal variability in lower trophic level environment in the western subarctic North Pacific. The Second Surfside Climate Workshop “Climate Forcing of Oceanic Ecosystems” La Jolla, California、2001 年 4 月
2) Kishino, M.; Analysis of ASTER Data ー Same new images -, 20th ASTER Science Team Meeting (Sponsor, ERSDAC), Tokyo, 2001 年 5 月
3) Chiba, S., and Saino T.; Interdecadal change in upper water environment altered spring diatom community structure in the Japan Sea Global Change Open Science Conference Rai Congress Center, Amsterdam, Netherland、2001 年 7 月
4) Sukigara, C., and T. Saino; Seasonal and interannual variation of organic components in sinking particles at the mouth of Tokyo Bay. Global Change Open Science Conference Rai Congress Center, Amsterdam, Netherland、2001 年 7 月
5) Mino, Y., T. Saino, K. Suzuki, and E. Marañon; Isotopic composition of suspended particulate nitrogen (d15Nsus) in surface waters of the Atlantic Ocean Global Change Open Science Conference Rai Congress Center, Amsterdam, Netherland、2001 年 7 月
6) 喜多村 稔・田中祐志・石丸 隆; シミコクラゲ *Rathkea octopunctata* の摂餌生態 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月
7) 佐藤 力・田中祐志・石丸 隆; 夏季の相模湾における Oikopleura longicauda (尾虫類オタマボヤ科)の生産特性 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月
8) 笹野大輔・濱 健夫・山口征矢; 相模湾における基礎生産速度および生産物組成の季節変化 II. タンパク質・アミノ酸 2001 年度日本海洋学会秋季大会 静岡、2001 年 9 月 23 日
9) 堀本奈穂・山口征矢・石丸 隆; 南極海ウィルクスランド沖における植物プランクトンの炭素現存量 2001 年度日本海洋学会秋季大会 静岡、2001 年 9 月 26 日
10) 小埜恒夫・田所和明・緑川貴・才野敏郎; 栄養塩時系列から推定される親潮域の群集純生産量の減少トレンド 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月
11) 才野敏郎; 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム: 計画の概要 日本海洋学会創立 60 周年記念大会,静岡、2001 年 9 月
12) 石丸 隆・才野敏郎・川上高志・中村哲也; 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム:自動昇降式水中ウインチシステムの開発 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月
13) 鈴木光次・吉川尚・品田晃良・范姜文榮・古谷研・才野敏郎; FRRF による海洋の基礎生産力の測定とその検証 日本海洋学会創立 60 周年記念大 静岡、2001 年 9 月
14) 大河内理恵・山口征矢・石丸 隆; 相模湾における基礎生産速度の周年変化について 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 24 日
15) 赤沢明敏・柳 哲雄・日向博文・古川恵太・細川恭史・石丸 隆; 相模湾と東京湾の海況変動の関連 日本海洋学会創立 60 周年記念大会
16) 石坂丞二、大西美奈、白山肇、内山勇; 海色衛星での沿岸環境モニタリングの可能性:富山湾を例に 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 24
17) 岸野元彰、石坂丞二、齋藤誠一、佐藤博雄、平訳亨; 日本沿岸域における海水の光学的性質の研究 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 24 日
18) 石坂丞二; 海色リモートセンシング:生物・物理・化学のつなぎとして展開 日本海洋学会 60 周年記念合同シンポジウム 21世紀の海洋学の展望静岡、2001.9 月 25 日
19) 伊藤哲也、石坂丞二、播本孝史、渡辺雄二; 光吸収スペクトルから推定した北太平洋における植物プランクトンの色素分布 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 26 日
20) Eko Siswanto. Joji Ishizaka; Chloropphyll-*a* profile around the Kuroshio front in the East China Sea during Spring 2001 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 26 日
21) 渡辺茂樹・吉川尚・武田重信・古谷研; 植物プランクトン光吸収係数からの植物色素濃度の見積り 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 静岡、2001 年 9 月 26 日

22) 後藤直成・鈴木光次・才野敏郎;　実験水槽における基礎生産速度測定法の比較～酸素法, ^{13}C 法, ^{14}C 法, 励起蛍光法～　日本陸水学会　仙台、2001 年 10 月　Limsakul, Atsamon, Toshiro Saino, Joaquim I. Goes and Takashi Midorikawa;　Effects of large-scale climate variability on the lower trophic ecosystems of the western subtropical Pacific and Oyashio Waters: Comparison of possible linking mechanisms and biological responses　North Pacific Marine Science Organization (PICES) 10th Meeting　Victoria, Canada、2001 年 10 月

24) Ono, Tsuneo, Kazuaki Tadokoro, Takashi Midorikawa, and Toshiro Saino;　Linear decrease of nutrient consumption in the spring Oyashio mixed layer from 1968 to 1998　North Pacific Marine Science Organization (PICES) 10th Meeting　Victoria, Canada、2001 年 10 月

25) Sanae Chiba, Toshiro Saino;　Plankton community study: a better way to understand ecosystem dynamics in the Japan Sea　North Pacific Marine Science Organization (PICES) 10th Meeting　Victoria, Canada、2001 年 10 月

26) Saino, Toshiro; Estimation of oceanic pCO_2 from satellite SST and Chl-*a;* A Case for the northern North Pacific　ADEOSII/GLI Workshop　EORC/NASDA, 晴海、東京、2001 年 11 月 15 日

27) J. Ishizaka, K. Tashima, S. Saitoh;　Verification of GLI In-Water Algorithms with Data around Japan, GLI Workshop NASDA Tokyo、2001 年 11 月 15 日日沼公・鈴木光次・才野敏郎・斎藤宏明;　植物プランクトンの応答 I（生物物理学的及び生物化学的手法を用いた解析）東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム［鉄散布実験による海洋生態系と大気組成への影響―海洋丸 SEEDS 航海を中心に SOLAS へ―］東大海洋研、中野、東京、2001 年 11 月 16 日

29) 斎藤宏明・日沼公・鈴木光次・才野敏郎;　微小動物プランクトン摂餌　東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム［鉄散布実験による海洋生態系と大気組成への影響―海洋丸 SEEDS 航海を中心に SOLAS へ―］　東大海洋研、中野、東京、2001 年 11 月 16 日

30) 才野敏郎;　SOLAS の国際対応と日本からの提案：総合討論　東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム［鉄散布実験による海洋生態系と大気組成への影響―海洋丸 SEEDS 航海を中心に SOLAS へ―］東大海洋研、中野、東京、2001 年 11 月 16 日

31) 石坂丞二, 北浦康仙, 田島清史, 田中昭彦;　有明海の生物光学的特性について　九州沖縄地区合同シンポジウム「有明海の海洋環境」2001 年 12 月7日

32) 今井圭理・野尻幸宏・鶴島修夫・志賀直信・才野敏郎;　観測定点 KNOT における生物生産活動の季節変化　海洋科学技術センター　ブルーアースシンポジウム（第 5 回みらいシンポジウム）　東京都千代田区経団連会館、2001 年 12 月

33) Ishizaka, J.;　Japanese Ocean Color Activities: OCTS to GLI, Invited AGU Ocean Science Meeting, 2002 Hawaii.、2002 年 2 月.12 日

34) Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, H. Kiyosawa, A. Shiomoto, and A. Tsuda;　Biological Processes during the Subarctic Pacific Iron Experiment for Ecosystem Dynamics Study (SEEDS)　AGU Ocean Sciences Meeting　Hawaii、2002 年 2 月

35) Saino, Toshiro;　Global Ocean Data Archeology and Rescue: Scientific Needs from the Carbon Cycle Study in the Ocean. International Workshop for GODAR WESTPAC, Hydrographic Department, Japan Coast Guard,. Tsukiji, Tokyo, 2002 年 3 月 5 日

36) 才野敏郎;　IGBP 国内シンポジウム「海関連プロジェクトの今後の方向と接点」地球環境研究連絡委員会 IGBP 専門委員会　東京都港区　日本学術会議大会議室「全球海洋フラックス合同研究計画（JGOFS）」平成 14 年 3 月 25 日

37) 才野敏郎;　IGBP 国内シンポジウム「海関連プロジェクトの今後の方向と接点」地球環境研究連絡委員会 IGBP 専門委員会　東京都港区　日本学術会議大会議室「IGBP/SCOR における将来の海洋研究（Ocean Future）検討の経緯」平成 14 年 3 月 25 日

38) 才野敏郎; 水温・クロロフィルデータを用いた海洋表層の二酸化炭素分圧の推定:北部北太平洋におけるケーススタディ 平成 13 年度 GLI 報告会、宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター、晴海、東京、2002 年 3 月 27 日

39) 千葉早苗・*才野敏郎; 日本海における動物プランクトン群集構造の季節/経年変動と気候変動の影響 (1991−1999) 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

40) V.V.S.S. *Sarma, T. Ono and T. *Saino; Shallowing of aragonite saturation depth in the world's oceans: Influence of anthropogenic carbon inputs. 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

41) 小埜恒夫・*才野敏郎; 衛星 SST, Chl *a* による船舶 pCO_2 データの海盆スケールへの外挿 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

42) *三野義尚・*才野敏郎・*鈴木光次; 大西洋表層における懸濁粒子の d13C から推定された植物プランクトンの無機炭素取り込み機構について 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

43) 岸野元彰・堀本奈穂・石丸隆・*才野敏郎; CDOM の測定(序報) 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

44) 笹岡晃征・斉藤誠一・*才野敏郎; マルチセンサーリモートセンシングを用いた北太平洋亜寒帯域におけるクロロフィル a 濃度分布の東西比較 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

45) *橋本慎治・堀本奈穂・石丸隆・*才野敏郎; 相模湾における総基礎生産と群集呼吸 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

46) *鋤柄千穂・*才野敏郎; 東京湾から外洋への粒子状物質輸送 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

47) 高橋伸元・乗木新一郎・柳哲雄・*才野敏郎・石丸隆; 東京湾から外洋へ移動する粒子量を支配する要因 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

48) *鈴木光次・*日沼公・太田純吾・松本佳・*才野敏郎; 生物光学的手法による相模湾の基礎生産力の測定 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

49) 津田敦・武田重信・齊藤宏明・西岡純・津旨大輔・芳村毅・野尻幸宏・今井圭理・工藤勲・久万健志・谷平八郎・野入善史・塩本明弘・清沢弘志・小埜恒夫・嶋本晶文・青野辰雄・*日沼公・*鈴木光次・*才野敏郎・衣笠正敏・宗林由樹・鶴島修夫・深見公雄・小川浩史; 鉄散布実験 Subarctic Ocean Enrichment and Ecosystem Dynamics Study (SEEDS) 航海概要 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

50) *日沼公・*鈴木光次・齊藤宏明・*才野敏郎; 亜寒帯太平洋域の鉄散布に対する植物プランクトンの応答 (SEEDS) -生物物理学的手法による解析- 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

51) 齊藤宏明・*鈴木光次・*日沼公・津田敦・清沢弘志・*才野敏郎; 西部亜寒帯太平洋域での鉄添加実験 (SEEDS)における動物プランクトンの応答 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

52) *Limsakul, A., and T. *Saino; Effects of large-scale climate variability on the lower trophic ecosystem of the Oyashio water 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

53) 小埜恒夫・田所和明・緑川貴・西岡純・*才野敏郎; 親潮域の気候変動に対する生物生産のレスポンス:時間スケールによる変動要因の違いについて 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

54) 田所和明・千葉早苗・*才野敏郎; 親潮域における低次生態系と気候変動の関係 2002 年度日本海洋学会春季大会 東京 2002 年 3 月

55) J. Ishizaka; Recent Japanese Ocean Color Activities. 2nd Internatinal Workshop on Remote Sensing of the Marine Environment in the Northwest Pacific Region, Toyama、2002 年.3 月 25 日

56) A. Tanaka, M. Kishino, J. Ishizaka; The In-water Algorithm using Neural Network for Ocean Color Remote Sensing 2nd Internatinal Workshop on Remote Sensing of the Marine Environment in the Northwest Pacific Region, Toyama、2002 年.3 月 25 日

57) Kishino, M; Overview of in-water algorithms, 2nd International Workshop on Remote Sensing of the Marine Environment in the Northwest Pacific Region, Toyama、2002 年.3 月 25 日

58) 石坂丞二・田島清史・田中昭彦; 東シナ海縁辺部・大村湾・有明海の生物光学的特性について　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002.年 3 月 30 日

59) 亀田卓彦・今井圭理・笹岡晃征・石坂丞二・野尻幸宏・斎藤誠一・塩本明弘;　西部北太平洋における基礎生産の季節変動－VGPM の観測点 KNOT への適用－　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002.年 3 月 30 日

60) 清沢弘志・鈴木光次・日沼公・齊藤宏明・津田敦; 北西太平洋亜寒帯域の鉄散布実験(SEEDS)における植物プランクトン群集の応答　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002 年 3 月

61) 石丸　隆・喜多村 稔・栗田嘉宥・宮崎唯史・峰 雄二・野田 明・濱田浩明・小池義夫・喜多沢 彰・林 敏史; 東京湾口における底層高濁度水の分布とその変動　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002 年 3 月

62) 吉川 尚、古谷 研;　自然蛍光による一次生産の連続観測　日本海洋学会春季大会（2002 年 3 月 27 日～31 日　東京水産大学）

63) 喜多村 稔・加田雅宏・田中祐志・石丸 隆;　ヒドロクラゲの遊泳と胃内容物の関連　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002 年 3 月

64) 橋本 慎治, 塩本 明弘;　2000 年 5-6 月の日本周辺海域の表面におけるサイズ分画したクロロフィル a 濃度の海域分布　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002 年 3 月

65) 堀本奈穂・山口征矢・石丸 隆;　各海域における植物プランクトンのサイズ組成　2002 年度日本海洋学会春季大会　東京、2002 年 3 月 30 日

2002 年度

1) Sanae Chiba, Kazuaki Tadokoro, Tsuneo Ono and Toshiro Saino;　Has the water column environments changed in the western subarctic North Pacific? - 30 years retrospective study - Joint Workshop of the Global Synthesis Working group and JGOFS/GAIM Task Team on 3D Ocean Carbon Modeling and Analysis: "Workshop on Global Ocean Productivity and the Fluxes of Carbon and Nutrients: Combining Observations and Models", Ispra, Italy, June 2002

2) Kosei Sasaoka, Sei-ichi Saitoh and Toshiro Saino;　Seasonal and Interannual Variability of Chlorophyll *a* and Primary Productivity in the subarctic North Pacific during 1997-2000 using Multi-Sensor Remote Sensing (Poster)　Joint Workshop of the Global Synthesis Working group and JGOFS/GAIM Task Team on 3D Ocean Carbon Modeling and Analysis: "Workshop on Global Ocean Productivity and the Fluxes of Carbon and Nutrients: Combining Observations and Models", Ispra, Italy, June 2002

3) *田所和明・千葉早苗・小埜恒夫・才野敏郎;　親潮における低次生態系と気候変動の関係-特に *Neocalanus* 属カイアシ類について- 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「気候－海洋－海洋生態系のレジーム・シフトの実態とメカニズム解明へのアプローチ」, 中野、東京、2002 年 6 月 26 日

4) Sanae Chiba, and Toshiro Saino;　Climate-induced variability of the lower trophic level ecosystem in the Japan/East Sea - a 30 years retrospective approach - CREAMS/PICES Symposium on Recent Progress in Studies of Physical and Chemical Processes and Their Impac to the Japan/East Sea Ecosystem, Seoul, Korea, August 2002

5) Eko Siswanto and Joji Ishizaka;　Estimating chlorophyll vertical profiles around Kuroshio front of East China Sea during spring and autumn 2001.PORSEC 2002, Bali.(2002.9.5)

6) Suzuki, K., H. Liu, T. Saino, H. Obata, M. Takano, K. Okamura, Y. Sohrin, and Y. Fujishima;　East-west gradients in the photosynthetic potential of phytoplankton and iron concentration in the subarctic Pacific Ocean during early summer.　Workshop of a Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study Sapporo (Japan) 2002 年 10 月

7) Liu, H., K. Suzuki, and A. Tsuda;　Phytoplankton dynamics and iron limitation in the northewestern subarctic Pacific Ocean.　Workshop of a Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo (Japan) 2002 年 10 月

8) Sasaoka, K., S. Saitoh, and T. Saino;　Seasonal and Interannual variability of chlorophyll a and primary

productivity in the subarctic North Pacific as observed by satellite remote sensing. Workshop on Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo, 1 October 2002

9) Tadokoro, K., S. Chiba, T. Ono and T. Saino; Increased stratification and decreased primary productivity in the western subarctic North Pacific -a 30 years restropective study- Workshop on Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo, 1 October 2002

10) Limsakul, A., and T. Saino (poster); Evidence for climate-related variations in nitrogen fixation in the western subtropical and tropical Pacific. Workshop on Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo, 1 October 2002

11) 田所和明・千葉早苗・小埜恒夫・緑川貴・才野敏郎; 親潮におけるNeocalanus属カイアシ類現存量の経年変動 2002年度日本海洋学会秋季大会 札幌 10月

12) 品田晃良・才野敏郎; 夏季における2海域のプランクトン食物網構造の比較 2002年度日本海洋学会秋季大会 札幌 10月

13) 鋤柄千穂*・才野敏郎*; 粒子状窒素安定同位体比に見る東京湾の変遷 2002 年度日本海洋学会秋季大会, 札幌, 10月

14) 高橋伸元・乗木新一郎・石丸隆・鋤柄千穂・才野敏郎・柳哲雄; 東京湾への黒潮貫入と湾内からの粒子流出 2002年度日本海洋学会秋季大会, 札幌, 10月

15) 保坂拓志, 才野敏郎, 石丸隆, 岸野元彰; 水中分光照度場からの chloropyll-a 鉛直分布の推定 2002年度日本海洋学会秋季大会(2002年10月3－5日 北海道大学)

16) Toshiro Saino; A Profiling Buoy System for real time monitoring of the Ocean Primary Productivity PICES XI, Quindao, China, October 2002

17) Toshiro Saino; Effects of climatic variation on lower trophic level ocean environment in the western North Pacific PICES XI, Quindao, China, October 2002

18) Tsuneo Ono, Kazuaki Tadokoro, Takashi Midorikawa, Sanae Chiba, and Toshiro Saino; Decadal oscillations of net primary production in the spring Oyashio region PICES XI, Quindao, China, October 2002

19) Kazuaki Tadokoro, Sanae Chiba, Tsuneo Ono, Takashi Midorikawa, and Toshiro Saino; Interannual variations of Neocalanus copepod biomass in the Oyashio water, western subarctic North Pacific PICES XI, Quindao, China, October 2002

20) Sanae Chiba, Kazuaki Tadokoro, Tsuneo Ono and Toshiro Saino; Has lower trophic level ecosystem changed in the western subarctic North Pacific?- a 30 years retrospective study- PICES XI, Quindao, China, October 2002

21) 才野敏郎; 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

22) 才野敏郎(ポスター); 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム:研究の概要
地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

23) 鈴木光次・日沼公・太田純吾・松本佳・橋本慎治・堀本奈穂・吉川尚・石丸隆・古谷研・才野敏郎(ポスター); 高速フラッシュ励起蛍光光度計による海洋の基礎生産力の測定 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

24) 保坂拓志・才野敏郎(ポスター); 光合成有効放射の推定 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

25) 保坂拓志・才野敏郎(ポスター); クロロフィル鉛直分布の推定 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

26) 橋本慎治・堀本奈穂・石丸隆・才野敏郎(ポスター); 相模湾における総基礎生産と純基礎生産 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

27) Sarma, V.V.S.S., O. Abe, and T. Saino(ポスター); Gross Primary Productivity of the Sagami Bay using Triple Oxygen Isotopes 地球変動のメカニズム 第3回領域シンポジウム 品川、東京 2002年11月6日

28) Suzuki, K., A. Hinuma, J. Ohta, K. Matsumoto, S. Hashimoto, N. Horimoto, T. Ishimaru, and T. Saino;

Estimates of daily primary production in Sagami Bay (Japan) using fast repetition rate fluorometry and their data verification. OCEAN OPTICS XVI, NOVEMBER 18 - 22, 2002 - SANTA FE, NEW MEXICO

29) Motoaki Kishino, Takashi Ishimaru, Naho Horimoto and Toshiro Saino; MEASUREMENTS OF ABSORPTION COEFFICENT OF COLORED DISSOLVED ORGANIC MATTER (CDOM) OCEAN OPTICS XVI, NOVEMBER 18 - 22, 2002 - SANTA FE, NEW MEXICO

30) Saino, T.; A Profiling Buoy System for real time monitoring of the Ocean Primary Productivity 1st Open Science Conference of OCEANS, UNESCO, Paris, Jan 2003

31) Goes, J. I., H. do R. Gomes, A. Limsakul and T. Saino; Climate Modulated carbon export in the North Pacific Ocean –The role of El Niño events. 1st Open Science Conference of OCEANS, UNESCO, Paris, Jan 2003

32) 才野敏郎; 大気, 海洋, 海洋・陸域境界域における研究:JGOFS IGBP 国内シンポジウム「地球圏一生物圏国際協同研究計画(IGBP-Japan), フェイズ II に向かう新しい流れと課題」日本学術会議、東京, 2 月

33) 日沼 公 鈴木光次 才野敏郎; 相模湾における光合成光化学系 II パラメータと栄養塩濃度の関係 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年 3 月 27-31 日 東京水産大学

34) 橋本 慎治, 堀本 奈穂, 山口 征矢, 才野 敏郎; 相模湾における総基礎生産と純基礎生産. 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年 3 月 30 日 東京水産大学

35) 藤木徹一 日沼公 才野敏郎; FRRF によるクロロフィル蛍光と増殖速度の関係 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年 3 月 30 日 東京水産大学

36) 鈴木光次, 日沼公, 齊藤宏明, 清沢弘志, 才野敏郎, 津田敦; 北西太平洋亜寒帯域の鉄散布実験(SEEDS)における植物プランクトン群集の応答 2-生物化学的手法による解析-. 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年 3 月 30 日 東京水産大学

37) 齊藤宏明, 鈴木光次, 日沼公, 才野敏郎, 津田敦; 西部亜寒帯太平洋鉄散布実験(SEEDS)における海水と植物プランクトン光学特性の応答. 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年 3 月 30 日 東京水産大学

38) Eko Siswanto and Joji Ishizaka; Satellite-based daily carbon fixation rate and deep chlorophyll maximum consequence in East China Sea during autumn. 2003 年度日本海洋学会春季大会 2003 年3月 30 日

39) 品田晃良・才野敏郎; 富栄養海域におけるプランクトン食物網の主要経路 2003 年度日本海洋学会春季大会、東京、3 月

40) 堀本奈穂・神田穣太・石丸隆・山口征矢・才野敏郎; 相模湾湾央部の定点における時系列観測 2003 年度日本海洋学会春季大会、東京、3 月

41) 才野敏郎; 過去 5 年の「みらい」運用について:運用検討委員会からの視点 日本海洋学会シンポジウム 海洋地球観測船「みらい」の成果と将来 2003 年度日本海洋学会春季大会、東京、3 月

2003年度

1) Goes, J.I., H.do R. Gomes, A. Limsakul, and T. Saino; The rise and fall of El Nino's and their impact on carbon sequestration in the North Pacific Ocean JGOFS Final Open Science Conference, Washington DC, USA, May 2003

2) Saino, Toshiro; "Ecosystem Change in the Western North Pacific". A Seminar at Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA, 09 May 2003

3) Ishizaka, J.; Possible Influence of Changjiang River Dam to Primary Production in the East China Sea, International Symposium on Oceanographic Environmental Change after Completion of the Changjiang (Yangtze River) Three Gorges Dam, Cheju, Korea, (2003年5月15日)

4) Chiba S, T. Saino, Y. Hirota, S. Hasegawa; What does the 25 years zooplankton data sets tell us on climate-ecosystem link in the Japan Sea? 3rd International Zooplankton Production Symposium. Gijon, Spain, May 2003

5) Tadokoro, K., S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa, and T. Saino; Interannual variations of *Neocalanus* copepod biomass in the Oyashio water, western subarctic North Pacific 3rd International Zooplankton Production Symposium, Gijon, Spain, May 2003.
6) Sarma, V.V.S.S., M.D. Kumar, and T. Saino; Accumulation of DIC in the deep waters in the high productive regions: Sinking fluxes versus remineralization rates. US-JGOFS-SMP meeting, Massachusetts, USA, July 2003
7) Ishizaka, J., A. Tanaka, H. Sasaki, H. Murakami, W.-Z. Chen, K. Hosoda, K. Sasaoka, I. Asanuma, H. Kawamura, M. Toratani, H. Fukushima; Early Scientific Results of GLI Ocean. SPIE 10th International Symposium Remote Sensing. Barcelona, Spain. (Sept. 10, 2003)
8) Saino, Toshiro; "JGOFS final report to SCOR". 36th SCOR Executive Committee Meeting, Russian Science Academy, Moscow, Russia. 17 September 2003
9) Ishizaka, J.; Satellite remote sensing and its possibility to monitoring red tide. Symposium on Red Tide Monitoring using Satellite Remote Sensing. Nagasaki, Japan, (Sept. 23, 2003)
10) 才野敏郎・石丸隆・川上高志・松本圭・中村哲也; 自動昇降式海洋計測ブイシステムの開発と応用 2003年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
11) 日沼公・保坂拓志・中村哲也・才野敏郎; FRRF 法による海洋の日積算水柱あたり基礎生産力の測定 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
12) Sarma, V.V.S.S., O. Abe, S. Hashimoto, and T. Saino; Diural, Daily and seasonal variation in triple oxygen isotopes in the Sagami Bay 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
13) 橋本慎治・江本温子・堀本奈穂・石丸隆・才野敏郎; 相模湾表層における植物プランクトンの成長速度と微小動物プランクトンの捕食速度の季節変動 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
14) 橋濱史典・堀本奈穂・橋本慎治・石丸隆・才野敏郎; 色素組成から見た相模湾央における植物プランクトン群集の季節変化 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
15) 伊藤哲也, 石坂丞二, 大河内理恵, 山口征矢, 石丸隆; 衛星モデルを利用した相模湾における基礎生産の推定 2003 年度日本海洋学会秋季大会 (2003 年 9 月 25 日)
16) 吉川 尚・古谷研; 自然蛍光法による基礎生産測定における光合成パラメータの日周変動の影響 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月
17) 佐々木宏明, 石坂丞二, 東家康晴, 田中昭彦; 諫早湾における夏季に発生した赤潮の光学的特性 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月 26 日)
18) 東家康晴, 石坂丞二, 藤田伸二; 係留ブイにより観測された諫早湾におけるクロロフィル蛍光の短期変動 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月 26 日)
19) 村上浩, W-Z. Chen, 細田皇太郎, 福島甫, 川村宏, R. Frouin, B.G. Mitchell, 石坂丞二, 岸野元彰; ADEOS-II GLI による海洋観測 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、 (2003 年 9 月 26 日)
20) 田中昭彦, 佐々木宏明, 岩滝光儀, 石坂丞二, 松岡數充; 植物プランクトンの光学的特性の計測と問題点, 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月 26 日)
21) Siswanto, E., and J. Ishizaka; Spatial and seasonal variability of chlorophyll vertical structure and relation to the environmental condition, 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、(2003 年 9 月 26 日)
22) 山田圭子, 石坂丞二; 日本海における春季ブルームの経年変動と風速との関係 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月 26 日)
23) 石坂丞二; サテライトから見た赤潮動態 沿岸海洋シンポジウム「有明海」 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月 27 日)
24) 渡辺茂樹・林雅人・佐々木宏昭・斉藤精一・古谷研; 北太平洋亜寒帯域における植物プランクトン光合成色素の光吸収 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、(2003 年 9 月)
25) 荒島正道・神田穣太; 長光路フローセルを用いたリン酸塩の高感度分析法の開発 2003年度日本海洋学会秋季大会、長崎、2003年9月26日
26) 山本恵美・山﨑紗衣子・濱田浩明・林敏史・野田明・小池義夫・石丸隆・神田穣太; 成層海域表層における

栄養塩類濃度の高感度連続モニター 2003年度日本海洋学会秋季大会、長崎、2003年9月26日

27) 高橋伸元・乗木新一郎・鋤柄千穂・才野敏郎・柳哲雄・石丸隆; 東京湾において観測された沈降粒子 2003 年度日本海洋学会秋季大会 長崎、9 月

28) 千葉早苗・才野敏郎・広田祐一・長谷川誠三; 日本海における低次生態系の長期変動パターンの南北海域比較(1966-1990)2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月

29) 三野義尚・才野敏郎; 炭素安定同位体比から推定された大西洋表層における一次生産過程について 2003 年度日本海洋学会秋季大会、長崎、9 月

30) Sarma, V.V.S.S., O. Abe, and T. Saino; Productivity of the Sagami Bay using triple oxygen isotopes. Goldschmidt Conference, Kurashiki, Sept.2003

31) Chiba S, T. Saino, Y. Hirota, and S. Hasegawa; North-south contrast of multi-decadal scale variation of lower trophic level ecosystem in the Japan/East Sea: light-limited versus nutrients-limited. PICES 12th Annual Meeting, Seoul, Korea, Oct 2003

32) Tadokoro, K., S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa, and T. Saino; Increase of stratification and decreased primary productivity in the subarctic North Pacific 12th PICES Annual Meeting, Seoul, Korea Oct. 2003 (invited).

33) Saino, Toshiro; "Ocean Climate Biology: Understanding the interactive roles of ocean biology in the Earth System under climate change" A Seminar at 2nd Institute of Oceanography of China Hangzhou, China. 27 October 2003

34) Siswanto, E., J. Ishizaka, and K. Yokouchi; Estimation of chlorophyll vertical profiles from satellite data and the implication to primary production in Kuroshio front of the East China Sea. 4th International Workshop on the Oceanography and Fisheries in the East China Sea. (2003 年 11 月 8 日)

35) Saino, Toshiro; "Remote Sensing and Biological Productivity" A Lecture for Advanced Training Workshop on South China Sea Regional Carbon Issues, Organized by Southeast Asia Regional Committee for START at National Central University of Taiwan. Chungli, Taiwan. 17 November 2003

36) 藤木徹一・鈴江崇彦・紀本英志・才野敏郎; 高速フラッシュ励起蛍光法による光合成－光曲線の測定 2003 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会、東京、11 月

37) 堀本 奈穂・石丸 隆・山口 征矢; 相模湾における植物プランクトン群集組成の季節変化 2003 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会 合同シンポジウム 11 月 23—24 日

38) 松本 祐子・喜多村 稔・石丸 隆; 相模湾における動物プランクトン群集組成の季節変化 2003 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会 合同シンポジウム 11 月 23—24 日

39) 伊藤 洋介 ・ 堀本 奈穂 ・ 山口 征矢; 相模湾における光合成-光曲線の季節変動に関する研究、2003 年日本プランクトン学会・日本ベントス学会 合同シンポジウム 11 月 23—24 日

40) 福島甫・浅沼市男・石坂丞二・川村宏・岸野元彰・笹岡晃征・田中昭彦・虎谷充浩・細田皇太郎・村上浩・R. Frouin・G. Mitchell; GLIの初期結果と今後への期待 －海洋圏の立場からー, 日本リモートセンシング学会第 35 回(平成 15 年度秋季)学術講演会 (2003 年 11 月 26 日)

41) 村上浩・笹岡晃征・細田皇太郎・福島甫・虎谷充浩・R. Frouin・B. G. Mitchell・川村宏・境田太樹・川合義美・岸野元彰・横内克巳・清本容子・D. Clark・齊藤誠一・田中昭彦・佐々木宏明・石坂丞二; GLI 海洋プロダクト検証状況, 日本リモートセンシング学会第 35 回(平成 15 年度秋季)学術講演会 (2003 年 11 月 26 日)

42) Toshiro Saino; Real Time Ocean Primary Productivity Monitoring System for Validation of Satellite Ocean Color Data. The 1st Joint Seminar on Coastal Oceanography, NRCT/ JSPS Chiang Mai, Thailand, Dec.

43) Murakami, H., K. Sasaoka, K. Hosoda, M. Yoshida, Y. Mitomi, A. Mukaida, H. Fukushima, M. Toratani, R. Frouin, B.G. Mitchell, H. Kawamura, F. Sakaida, Y. Kawai, M. Kishino, K. Yokouchi, Y. Kiyomoto, D. Clark, S. Saitoh, A. Tanaka, H. Sasaki and J.Ishizaka; Status of GLI ocean project in JAXA EORC, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color Nagasaki (2004, 1.11)

44) Tanaka, A., M. Kishino and J. Ishizaka; Present status of in-water algorithm using neural network, First

Korea-Japan Workshop on Ocean Color, 2004, 1.11, Nagasaki, (2004, 1.10)

45) Sasaki, H., A. Tanaka, Y. Touke and J. Ishizaka; Optical properties of various red tides in Isahaya Bay, in 2002 and 2003, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color, Nagasaki , (2004, 1.11)

46) Ishizaka, J., A. Tanaka, H. Sasaki, Y. Touke, A. Yamazaki and T. Yamakawa, S. Fujita; Satellite chlorophyll variability in the Ariake Sound, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color, Nagasaki, (2004, 1.11)

47) Yamada, K. and J. Ishizaka; Seasonal and interannual variability of primary production in the Japan/East Sea estimated by satellite data, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color, Nagasaki, (2004, 1.11)

48) Siswanto E., J. Ishizaka and K. Yokouchi; Primary production estimation in northeastern part of East China Sea: advantages, limitations and consequences of model options, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color, Nagasaki, (2004, 1.12)

49) Tan, C.K. and J. Ishizaka; Seasonal and interannual variation of SeaWiFS chlorophyll a in the Malacca Strait, First Korea-Japan Workshop on Ocean Color, Nagasaki, (2004, 1.12)

50) Fujiki, T., T. Yoshikawa, K. Furuya, T. Suzue, H. Kimoto and T. Saino; Measurement of photosynthesis-irradiance response curve using fast repetition rate fluorometry ASLO/TOS 2004 Ocean Research conference 2004、Hawaii, USA, Feb.

51) Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, T. Ota, K. Fukami, H. Kiyosawa, T. Saino, and A. Tsuda; Responses of Micrograzers to the mesoscale iron fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS). ASLO/TOS Ocean Research Conference 2004, Hawaii, USA, Feb.

52) Sarma, V.V.S.S., and T. Saino; Estimation of Net Plankton community production using oxygen mass balance model, ASLO/TOS Ocean Research Conference 2004, Hawaii, USA, Feb

53) Tan, C.K. and J. Ishizaka; Seasonal and interannual variation of SeaWiFS chlorophyll a in Malacca Strait, ASLO/TOS Ocean Research 2004 Conference, Hawaii, (2004, 2. 17-19)

54) Mino, Y., and T. Saino; Inorganic carbon acquisition of phytoplankton population in the oligotrophic Atlantic. ASLO/TOS Ocean Research Conference 2004, Hawaii, USA, Feb

55) 橋本慎治・伊藤洋介・橋濱史典・堀本奈穂・山口征矢・石丸隆・才野敏郎; 相模湾における総基礎生産と植物プランクトンの呼吸 2004 年度日本海洋学会春季大会、つくば、3 月

56) 佐々木宏明, 田中昭彦, 岩滝光儀, 東家康晴, 石坂丞二; 諫早湾における珪藻・渦鞭毛藻, ラフィド藻赤潮の光学的特性 2004 年度日本海洋学会春季大会 つくば、(2004.3.27)

57) 石坂丞二, 田中昭彦, 佐々木宏明, 東家康晴, 山崎敦子, 山川智愛, 藤田伸二; 有明海における衛星クロロフィル a 濃度の 5 年間の変動 2004 年度日本海洋学会春季大会 つくば、(2004.3.29)

58) Siswanto, E., J. Ishizaka, K. Yokouchi; Primary production estimation in northern part of East China Sea; advantages, limitations and consequences of model options 2004 年度日本海洋学会春季大会 つくば、(2004.3.28)

59) Tan Chun Knee, J. Ishizaka; Seasonal and interannual variation of SeaWiFS Chlorophyll a in the Malacca Straits. 2004 年度日本海洋学会春季大会 (2004.3.28)

60) 石丸 隆・岸野元彰・高橋正征; 海洋深層水くみ上げによる魚類増産高価の推定、日本海洋学会春季大会、筑波、2004 年 3 月 26 日

61) 田所和明・千葉早苗・小埜恒夫・緑川貴・杉崎宏哉・才野敏郎; 『親潮域における *Neocalanus* 属カイアシ類現存量の長期変動と気候変動との関係ーオダテ試料の解析結果も交えてー』水産海洋学会シンポ (2004.3.31)

62) 亀田卓彦, 石坂丞二; 衛星から見た北西太平洋における基礎生産の時間変動 水産海洋シンポジウム 1998年に日本周辺でレジームシフトは起こったか？ (2004.3.31)

63) 山田圭子, 千葉早苗, 石坂丞二; レジームシフトおよびENSOによる日本海南部での低次生産の変動 水産海洋シンポジウム 1998年に日本周辺でレジームシフトは起こったか？ (2004.3.31)

2004 年度

1) 吉川尚・古谷研: 春季岩手県大槌湾における植物プランクトンと養殖ワカメ基礎生産量の比較 日

本水産学会大会 鹿児島大学 鹿児島 2004年9月

2) V.V.S.S.Sarma, O.Abe, S.Hashimoto, andT.Saino： A novel method to estimate gross oxygen productivity using triple oxygen isotopic composition of dissolved oxygen. 2004年度日本海洋学会秋季大会 松山、9月

3) 橋本慎治・堀本奈穂・石丸隆・才野敏郎： 相模湾における総基礎生産、群集呼吸および純群集生産 2004年度日本海洋学会秋季大会 松山、9月

4) S.Mitbavkar, N.Horimoto, T.Ishimaru, Y.Yamaguchi and T. Saino： Picoplankton community structure in the Sagami Bay: Flow cytometric analysis 2004年度日本海洋学会秋季大会 松山、9月

5) 藤木徹一（科学技術振興機構）・才野敏郎： 栄養塩添加による光合成－光曲線の変動 ～高速フラッシュ励起蛍光法(FRR法)を用いて～ 2004年度日本海洋学会秋季大会 松山、9月

6) Chiba S, Sugisaki H, Saino T (2004. 10)： Decadal scale variation of copepod community strucgture in the Oyashio based on the Odate Collection. PICES 13th Annual Meeting. Honolulu, U.S.A.

7) Kazuaki Tadokoro, Hiroya Sugisaki, Hiroaki Saito, and Toshiro Saino：Interannual variations in developmental timing of *Neocalanus* copepod populations in the Oyashio waters of western subarctic North Pacific, 13th PICES Annual Meeting, Honolulu, USA Oct. 2003.

8) 石坂丞二(長大水産)・村上宏(宇宙航空研究開発機構)・田中昭彦(長崎県産業振興財団)・佐々木宏明(長崎県産業振興財団)・東家康晴(長大生産)： GLI の 250m と 1km データの複合による有明海の赤潮観測 2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

9) 若松愛(長崎大生産科学)・石坂丞二(長崎大水産)・松野健(九大応力研)・清水学(中央水研)： 漂流ブイと衛星で観測された 2002 年 9 月済州島周辺のクロロフィル a の挙動 2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

10) 川村宏(東北大院・理)・高橋理(日本エヌ・ユー・エス)・古谷研(東大院農学生命)・大村卓朗(東大院農学生命)： 衛星海色観測をベースにしたアジア沿岸海域の赤潮検出システム 2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

11) 高橋理(日本エヌ・ユー・エス)・川村宏(東北大院・理)・大村卓朗(東大院農学生命)・古谷研(東大院農学生命)： 衛星海色観測による大阪湾・播磨灘の赤潮検出に関する研究 2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

12) 大村拓朗(東大院農学生命)・冨橋理(日本エヌ・ユー・エス)・古谷研(東大院農学生命)・川村宏(東北大院・理)： 人工衛星による瀬戸内海における赤潮の観測 2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

13) 佐藤光秀(東大院農)・武田重信(東大院農)・古谷研(東大院農)： サンプルの長期保存が植物プランクトンのフローサイトメトリーに及ぼす影響…2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

14) 片野俊也(愛媛大 CMES)・神崎直人(愛媛大農)・大林由美子(愛媛大 CMES)・兼田淳史(愛媛大 CMES)・森本昭彦(名大水循環セ)・鬼塚剛(水大校)・安田秀一(水大校)・水谷壮太郎(水大校)・今義英(水大校)・赤一浩(水大校)・武岡英隆(愛媛大 CMES)・中野伸一(愛媛大農)： 瀬戸内海から黒潮域にかけての Synechococcus のフィコエリスリン色素タイプごとの分布と光環境の関係…2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

15) 吉田健一(海洋大)・石丸隆(海洋大)： 東京湾における植物プランクトン群集組成の経年変動…2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

16) 三木周(東大農学生命)・吉川尚(近大水研)・武田重信(東大農学生命)・古谷研(東大農学生命)： 夏季南極海オーストラリア区における植物プランクトン群集動態…2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

17) 近藤能子(東大院農学生命)・武田重信(東大院農学生命)・西岡純(電中研)・佐藤光秀(東大院農学生命)・沓藤宏明(東北水研)・鈴木光次(北大院地球環境)・古谷研(東大院農学生命)： 有機錯体鉄の添加に対する西部北太平洋亜寒帯域の植物プランクトンの増殖応答…2004 年度日本海洋学会秋季大会 松山、9 月

18) 田中昭彦(長崎県産業振興財団)・石坂丞二(長崎大水産)： 海面射出輝度の直接計測法 2004 年度日本

海洋学会秋季大会　松山、9 月

19) Eko Siswanto (Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University), Joji Ishizaka (Faculty of Fisheries, Nagasaki University), Katsumi Yokouchi (Sekai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency)： Phytoplankton biomass as variable governing water column photosynthetic parameter in the East China Sea・・2004 年度日本海洋学会秋季大会　松山、9 月

20) Sukigara, Chiho, and T. Saino (poster)： Recent trend of the particle transport processes from the Tokyo Bay to the open ocean　International Symposium on Long-term Variations in the Coastal Environments and Ecosystems, Matsuyama, 27 Sept 2004

21) 才野敏郎(Poster)： 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム:研究の概要　第6回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004年10月27日

22) 日油技研工業(Poster)： 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム:自動昇降ブイシステムの概要　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

23) 日油技研工業(Poster)： 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム:自動昇降ブイシステムの開発の経緯　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

24) 才野敏郎・J.S. Patil・千賀康弘・藤木徹一・紀本岳志・紀本英志・鈴江崇彦(Poster)： 高速フラッシュ励起蛍光光度計の開発　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

25) 藤木徹一・日沼公・才野敏郎(Poster)： 高速フラッシュ励起蛍光(FRRF)法による日・水柱積算総基礎生産の推定　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

26) 橋本慎治・堀本奈穂・山口征矢・石丸隆・才野敏郎(Poster)： 相模湾における総基礎生産と純基礎生産　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

27) 古谷研・吉川尚(Poster)： 光合成の日周性を考慮した自然蛍光法による日間基礎生産量の見積り　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

28) Sarma, V.V.S.S., O. Abe, S. Hashimoto, A. Hinuma and T. Saino (Poster)： Estimation of gross oxygen productivity using 17O anomaly and comparison with other estimates　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

29) Sarma, V.V.S.S., T. Saino, K. Furuya and S. Hashimoto： Diurnal variability in net community production in the Sagami Bay using Gas Tension Device　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

30) 堀本奈穂・橋本慎治・S.S. Mitbavkar・伊藤洋介・橋濱史典・松本裕子・大河内理恵・竹内美幸・櫻井宏子・山田奈津子・岸野元彰・神田穣太・山口征矢・石丸隆・才野敏郎： 青鷹丸による観測-相模湾における海況および生物量の季節変化-　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

31) 保坂拓志・才野敏郎： POPPS データシステム-リアルタイムデータ処理/表示/配信システム-　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

32) シスワント, エコ・伊藤哲也・石坂丞二： 相模湾の基礎生産アルゴリズムと2003 年の基礎生産　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

33) 才野敏郎(講演)： 衛星利用のための実時間海洋基礎生産計測システム　第 6 回領域シンポジウム「地球変動のメカニズム」、科学技術振興機構、虎ノ門、2004 年 10 月 27 日

(3) 特許出願　(国内　3 件、海外 0 件)

国内

発明者　　：保坂拓志

発明の名称　　：水中分光照度場からのクロロフィル a 鉛直分布の推定方法
出願人　　：科学技術振興事業団　代表者　沖村憲樹
提出日　　：平成 15 年 3 月 28 日
出願番号　　：2003-090341

発明者　　：保坂拓志
発明の名称　　：光合成有効放射量の推定方法及びそれを用いた推定システム
出願人　　：科学技術振興事業団　代表者　沖村憲樹
提出日　　：平成 15 年 3 月 28 日
出願番号　　：2003-090342

発明者　　：ベドゥラ・サルマ，阿部理，才野敏郎
発明の名称　　：大気中または溶存気体中の三種安定酸素同位体比測定方法，およびそれに用いる 0_2単離装置
出願人　　：科学技術振興事業団　代表者　沖村憲樹
提出日　　：平成 16 年 7 月 30 日
出願番号　　：2003-314837

(4)新聞報道等

①新聞報道　なし

②受賞　　なし

③招待講演

Toshiro Saino;　What is the role of marine time series in SOLAS, 1st SOLAS Open Science Conference, Damp, Germany, 22 Feb. 2000.

才野敏郎;　「海洋学とリモートセンシング」第二回海事工学シンポジウム「21世紀の海洋工学に何を期待するか」日本学術会議講堂，港区六本木 2000年6月

Toshiro Saino and J. I. Goes;　Year to year variability of new production in the northern North Pacific estimated from remotely sensed sea surface temperature and chlorophyll a.　Biogeochemical Cycles: German contribution to the international Joint Global Ocean Flux Study.　Sep 2000, Bremen, Germany

Toshiro Saino;　Global Ocean Data Archeology and Rescue: Scientific Needs from the Carbon Cycle Study in the Ocean. International Workshop for GODAR WESTPAC, Hydrographic Department, Japan Coast Guard,. Tsukiji, Tokyo, 2002 年 3 月 5 日

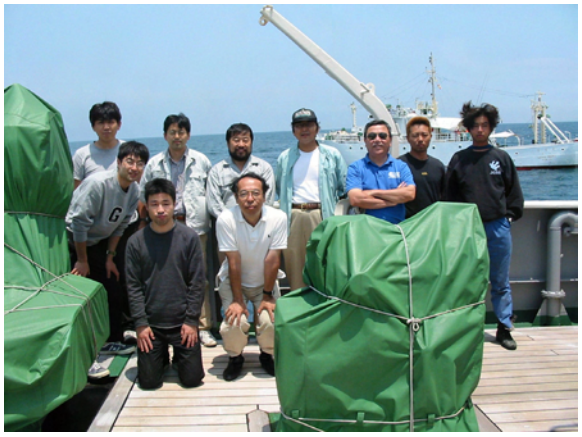
Toshiro Saino; "Remote Sensing and Biological Productivity" A Lecture for Advanced Training Workshop on South China Sea Regional Carbon Issues, Organized by Southeast Asia Regional Committee for START at National Central University of Taiwan. Chungli, Taiwan. 17 November 2003

(5)その他特記事項

なし

８．結び

5年という長期間にわたって、ブイの開発、センサーの開発、集中的な野外観測と、何れも巨額な費用を要する研究を自由に進めることができました。これを可能にして戴いた、科学技術振興機構、「地球変動メカニズム」浅井富雄領域総括、領域事務所の皆さん、および研究チームのメンバーに心から感謝いたします。また、野外実験に関しては、東京海洋大学（元東京水産大学）青鷹丸、海洋研究開発機構淡青丸（元東京大学海洋研究所所属）の船長、乗組員一同には一方ならぬお世話になりました。あわせて感謝いたします。



淡青丸KT－02－06次航海・後ろは青鷹丸

青鷹丸2002年6月研究航海

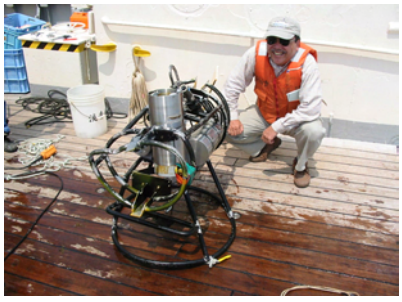
毎日04時より作業開始、20時まで2時間置き採水

つかの間の休息

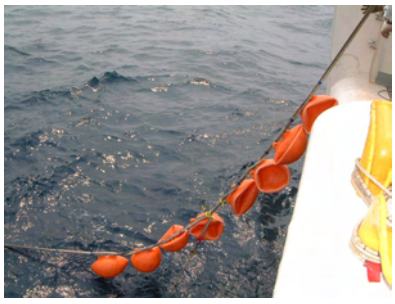
投入準備完了

無事回収

海洋の測器の開発では、一度海中に投入すると音波以外の手段では状況を知ることができなくなるために、何か事故が起こって測器を失うと、原因の追究が不可能になるのが通例です。そして、船に乗っての野外観測では予期しない突発的な事故あるいは事象が起こるのが常ですが、本プロジェクトの実施に当たっては、研究資金が制限要因となってはいけないと言うCREST事業の支援で、十分なリスク対策の準備をすることができました。それに加えて信じられないほどの幸運の連続で、様々な事故が起こりましたが、測器を失うこともなく、そのたびに新しい知見とノウハウを得ることができました。いろいろな事態に出くわすたびに、必死で考え、対策のために走りまわったことは研究者冥利につきる楽しみでもありました。



浮上したブイに船舶が接触して大破、破壊されたのは運良くダミーセンサーだけで、データロガー・バッテリーは無事。



海底立ち上げ表層係留ブイが急潮のため海面下に引き込まれ、破壊された。もう1つの表層ブイにより辛うじて回収。

浮上しなかったセジメントトラップ系を青鷹丸にて掃海。2000m先につけたフックが見事にシャックルに命中。

また、私は1997年より2003年まで国際協同研究計画 JGOFS の科学推進委員を努めましたが、この間北太平洋のJGOFSプロセス研究を行うかたわら、IGBPにおける後継の SOLAS や IMBER の計画の立案にも関わってきました。これらの議論に参加したことは、本 POPPS プロジェクトの方向性を考える上で大変参考になりました。SOLAS や IMBER において特に重要視されているのが、海洋の生物過程の地球環境変化に対する非線型な応答とその地球環境に対するフィードバックの過程です。これらを理解するため、海洋の生物過程の長期にわたる高頻度のモニタリングの重要性はますます高まっています。特に海洋においては、地球環境変化に対する生物過程の応答が一様ではなく、海域毎の違いを調べることがきわめて重要です。これを可能にするために必要な観測の最優先事項は衛星によるリモートセンシングです。現在多数の海色衛星センサーが運用されていますが、地球環境変化に伴う海洋の生物過程の変化を見るためには、それらの各種衛星を相互に比較し、空間的・時間的な連続性を確保することが何にもまして重要です。このためには衛星データの検証を組織的に行い、相互のデータの互換性を確保する必要があります。この点、本研究で開発した新たな海洋の基礎生産の測定法は、従来の方法に比べてより客観的で、再現性にすぐれているので、衛星モニタリングのための検証法としてその実用化が強く求められるものです。今までの成果を生かすべく、海洋基礎生産モニタリングシステムの構築に向けて微力を尽くしたいと思います。